



# EcodaI

## México 2018

3<sup>er</sup> Congreso Latinoamericano de Ecodiseño

Kuali Nextiyotl: el Ecodiseño desde nuestras raíces

### 3er Congreso Latinoamericano de Ecodiseño

[www.ecodal.org](http://www.ecodal.org)

## EcodAI México 2018

3er Congreso Latinoamericano de Ecodiseño

Del 29 al 31 de octubre de 2018, Puebla, México.

### Organizan



### Patrocinan



### Apoyado por

CONACYT

*EcodAI México 2018 se realizó el 29, 30 y 31 de octubre de 2018 en la Universidad Iberoamericana en Cholula, Puebla. Fue organizado por la Universidad Iberoamericana Puebla, el Centro de Análisis de Ciclo de Vida y Diseño Sustentable (CADIS) y Ecodiseño.cl. EcodAI México 2018 dio a conocer experiencias e investigaciones en Ecodiseño y temas asociados, además de presentar el estado en Latinoamérica y el mundo en esta materia a 186 participantes registrados, provenientes de 13 países diferentes: Argentina, Austria, Chile, Colombia, Cuba, España, Francia, México, Perú, El Salvador, Reino Unido, Suiza y Uruguay. El 24% de los participantes fueron académicos provenientes de 22 Universidades, el 45% estudiantes de 23 instituciones educativas y el 31% profesionistas provenientes de 21 organizaciones.*

ISSN: Pendiente de trámite.

# Contenido

Contenido .....	4
Visión EcodAI .....	7
Misión EcodAI .....	7
Kuali Nextiyótl: el Ecodiseño desde nuestras raíces.....	8
TEMÁTICAS DEL CONGRESO .....	10
Programa .....	13
Comité Científico .....	17
Conferencistas invitados.....	18
Comité organizador .....	25
Estadísticas .....	26
<i>capítulo 1</i> .....	27
Experiencia EcodAI.....	27
1.1    3er Congreso Latinoamericano de Ecodiseño. ....	28
1.2    Sede .....	28
1.3    Concepto.....	30
Trabajos de investigación .....	32
2.2    APLICACIÓN DEL ECODISEÑO .....	33
2.2.1    Evaluación de Impactos Ambientales en la industria mampostera: Caso de Estudio del Bloque No. 5 en Cundinamarca, Colombia.....	34
2.2.2    Análisis de ciclo de vida comparativo de la huella ambiental del uso de encendedores recargables y no recargables, para su ecodiseño. ....	43
2.2.3    Aplicación de estrategias de ecodiseño, para la detección de necesidades y campos de acción, en el diseño de nuevos productos.....	61
2.2.4    Combinación del HAPCC y el ACV para el diseño de productos alimenticios en cuba. ....	76
2.2.5    Diseño de una extrusora de filamento para impresión 3D aplicando los conceptos de eco innovación y ciclo de vida en la Ingeniería de producto. ....	85
2.2.6    Desarrollo de software para ecodiseño: dos casos de estudio del Instituto De Ingeniería, UNAM	102

2.2.7	Diseño de envases y embalajes para productos cerámicos y de mármol aplicando estrategias de ecodiseño y el análisis de ciclo de vida. ....	111
2.2.8	Estrategias de ecodiseño aplicadas al diseño y fabricación de una vajilla ecológica considerando su ciclo de vida. ....	131
2.2.9	Diseño de un dispensador de agua basado en la metodología de ecodiseño. ....	147
2.2.10	Lineamientos técnicos para el diseño de sistemas de captación de agua de lluvia para las edificaciones del área metropolitana de Guadalajara. ....	160
2.2.11	Sistema de evaluación de la sostenibilidad del sector forestal de la CAPV validado por agentes de toda la cadena de valor. ....	177
2.2.12	Propuesta metodológica para el inicio de un análisis de ciclo de vida social en queserías artesanales. ....	184
2.2.13	Evaluación de la huella de carbono de plantas de generación de biometano en México. ....	197
2.2.14	Evaluación de la composición química, térmica y físico-mecánica de la cáscara de mazorca de cacao, con fines de elaboración de tableros aglomerados, usando resina poliéster. ....	208
2.2.15	Evaluación comparativa de concreto con agregado natural y concreto a partir de agregado reciclado de prefabricados de concreto, bajo un análisis de ciclo de vida. ....	229
2.3	<b>POLITICAS PÚBLICAS PARA EL ECODISEÑO</b> .....	241
2.3.1	Evaluación del impacto ambiental potencial generado en la producción de carne de pollo mediante la metodología de análisis ciclo de vida “ACV” por atributos de la puerta a la puerta. ....	242
2.3.2	Ecodiseño y responsabilidad extendida del productor: propuestas para su implementación en Chile. ....	254
2.4	<b>EDUCACIÓN PARA EL ECODISEÑO</b> .....	267
2.4.1	Propuesta metodológica para la integración de aspectos ambientales a través del ecodiseño en la elaboración de productos con fibras naturales. ....	268
2.4.2	Diseño de procesos químicos orientado al ecodiseño desde la perspectiva de ingenieros químicos y ambientales. ....	278
2.4.3	Hacia la práctica del diseño simbiótico: una propuesta eco-pedagógica. ....	283
2.4.4	Programa de formación de capacidades (PFC), primer diplomado de Ecodiseño en Chile. ....	288
2.4.5	Tendencia del eco-diseño en trabajos de grado. ....	299
2.4.6	Procesos de diseño en los proyectos de grado con enfoque de innovación sustentable. ....	305
2.4.7	Comunidades entrelazadas. ....	324
2.5	<b>TECNOLOGÍAS DE FRONTERA Y ECODISEÑO</b> .....	336
2.5.1	Desarrollo tecnológico basado en el software CES EDUPACK del diseño de un vehículo eléctrico para personas con discapacidad de América Latina. ....	337

2.5.2	Análisis comparativo de impacto ambiental de tableros aglomerados de madera con fines de reciclaje en la Ciudad de Bucaramanga. ....	354
2.5.3	Prototipo de sistema de torre de viento para enfriamiento habitacional híbrido en clima cálido, caso de estudio vivienda urbana existente en Sinaloa, México. ....	361
2.5.4	Estudio de suelo para el desarrollo de materiales constructivos en las zonas semidesérticas del Estado de Nuevo León. ....	378
2.5.5	Desarrollo de papel artesanal a base de desechos agroindustriales tomando en cuenta el ciclo de vida del producto. ....	384
2.5.6	Construcción con madera masiva. Propuesta para construir edificios bajos en carbono en Zapopan. ....	393
2.5.7	Propuesta de nuevo esquema energético en la producción de arroz en cuba, desde la valorización de los residuos de cosecha por digestión anaerobia, con un enfoque de ACV. 423	
2.5.8	Maqueta didáctica de un mini biodigestor educativo como recurso pedagógico para conocer y comprender el proceso de biodigestión anaeróbica que produce biogás y digestato. ....	426
2.5.9	Ecoeficiencia en el uso de la escoria de acero como sustituto de materia prima en la cerámica tradicional. ....	440
2.5.10	Evaluación de impactos ambientales asociados a la valorización del rastrojo de maíz para la fabricación de un eco-panel aislante a través del ACV. ....	452
2.5.11	Ecoeficiencia en el uso de la escoria de acero como sustituto de materia prima en la cerámica tradicional. ....	468
2.5.12	Propuestas sustentables en materia energética en un centro de investigación. ....	479
2.5.13	Simulación del proceso de remoción de sulfuro de hidrógeno del biogás mediante absorción. ....	485
	Simulación de procesos. ....	486
	Experimentación con aminas. ....	489
	<b>Simulación de procesos.</b> ....	491
	Experimentación. ....	494
2.6	TECNOLOGÍAS ANCESTRALES Y ECODISEÑO. ....	501
2.6.1	Análisis del impacto ambiental (huella de carbono) por reubicación de productora de panel SIP para construcción. ....	502
	<i>Capítulo 3</i> .....	525
	Actividades. ....	526

## Visión EcodAI

Ayudar a la introducción de la metodología de Ecodiseño a nivel latinoamericano, aportando con experiencia práctica para consolidar una red de actores del ámbito estudiantil, empresarial y gubernamental, generando un espacio de conocimiento liderado por expertos científicos con el fin de despertar a los futuros protagonistas del cambio, para facilitar el tránsito hacia la sostenibilidad de la sociedad en su conjunto.

## Misión EcodAI

Aportar con espacios concretos para el conocimiento y la expansión del “Ecodiseño”, como son el Congreso Latinoamericano de Ecodiseño y otras actividades afines, posibilitando la experiencia de participar y ser actores de cambio en el diseño hacia productos y servicios de menor impacto ambiental a un número cada vez mayor de personas.

# Kuali Nextiyótl: el Ecodiseño desde nuestras raíces

***Kuali Nextiyótl*** es el buen diseño, aquel que considera que el producto cumpla su función de manera eficiente, minimizando los impactos ambientales en el ciclo de vida. Para lograrlo se apoya en las mejores herramientas de análisis disponible y en los datos de ciclo de vida. De esta manera, en EcodAl 2018 utilizamos el idioma ancestral de nuestra región para expresar lo que nos motivó a realizar el congreso: el buen diseño.

Para impulsar el buen diseño, es necesaria la participación de la sociedad en su conjunto: los fabricantes, los consumidores, el gobierno y las organizaciones en general. Como consumidores, tenemos poder de decisión sobre qué tipo de productos deseamos promover y con esto, el tipo de sociedad que deseamos fomentar; desde la organización de EcodAl tomamos acciones como consumidores al elegir a nuestros proveedores, por lo que dimos preferencia a la contratación de empresas de [economía social y solidaria](#), pues consideramos que al apoyar a este sector y ofrecer más oportunidades a los pequeños emprendedores, se fomenta una sociedad más igualitaria; también elegimos a las empresas que rescataran los productos locales e innovadores, por ejemplo la [cooperativa que ofreció helados de maíz azul](#) servidos en cáscara de mazorca.



Por otro lado, para evitar la excesiva generación de residuos, nos unimos al programa [basura cero](#) de la Ibero Puebla y no se dieron productos desechables; se invitó a todos los asistentes a llevar su recipiente para tomar sus bebidas, y también se ofreció el prestamos de utensilios reusables.

En EcodAl 2018 tuvimos la fortuna de conocer los avances en temas de ecodiseño y su evaluación mediante datos y herramientas de análisis de ciclo de vida; gracias a esta mancuerna, se llega a propuestas medibles en términos ambientales; creemos firmemente que **aquello que es medible es factible de ser analizado y mejorado**, por esto la importancia de trabajar con datos de ciclo de vida y con las mejores herramientas disponibles.

KUALI NEXTIYOTL son palabras en Náhuatl que se traducen como “buen diseño”, pero como a veces sucede en la traducción, se pierde la esencia de la palabra al traducirla: KUALI no sólo es bueno, es un concepto que implica “lo mejor”, hacerlo con pasión, poner el corazón en lo que se hace, y es así como desarrollamos EcodAI 2018.

Amalia Sojo  
*Coordinadora de EcodAI 2018*

# TEMÁTICAS DEL CONGRESO

## **Línea temática 1: Aplicación del Ecodiseño.**

- ❖ Casos de Ecodiseño aplicados a servicios o productos en la industria.
- ❖ Ecodiseño para sectores industriales: mobiliario, envases, eléctrico y electrónico, etc.
- ❖ Ecoinnovación y competitividad basada en Ecodiseño.
- ❖ Aspectos técnicos del Ecodiseño.
- ❖ Formas de análisis de ciclo de vida (ACV) del producto utilizados en Ecodiseño: ACV tipo Scan.
- ❖ ACV social.
- ❖ Desarrollo de Ecoindicadores locales.
- ❖ Indicadores de impacto ambiental (ecoindicadores) locales.
- ❖ Indicadores de huella ambiental (ecoindicadores) locales.
- ❖ Software para Ecodiseño.
- ❖ Diseño para el cierre de ciclo.
- ❖ Diseño como factor de cambio de las conductas.
- ❖ Ecodiseño y economía circular.
- ❖ Economía conductual y Ecodiseño.
- ❖ Negocios y Marketing verde para Ecodiseño.
- ❖ Declaraciones ambientales de producto y ecoetiquetado.
- ❖ Greenwashing.
- ❖ Medios de comunicación para productos y servicios ecodiseñados.
- ❖ Ecodiseño definido en el marco de las estrategias de las organizaciones.
- ❖ Movimiento slow y Ecodiseño (moda, alimentación, salud, otros).
- ❖ Diseño para la sostenibilidad (D4S).
- ❖ Comunicación para la sustentabilidad.

## **Línea temática 2: Políticas públicas para el Ecodiseño.**

- ❖ Ecodiseño en la Ley REP (Responsabilidad Extendida del Productor).
- ❖ Ecodiseño y políticas públicas sostenibles: Beneficios tributarios y otros incentivos fiscales, Financiamiento verde y Emprendimiento verde, Compras y Contrataciones públicas verdes.
- ❖ Ecodiseño e Incentivos no fiscales (Bonos verdes/Green bonds).
- ❖ Productos ecodiseñados certificados en el marco de lineamientos de políticas públicas: Ecoetiquetado
- ❖ Ecodiseño y Huella Ambiental de Producto y Huella Ambiental de Organización.
- ❖ Experiencias de Certificación de Ecodiseño, norma ISO 14006.
- ❖ Ecodiseño y Declaraciones ambientales de producto.
- ❖ Ecodiseño y Smart Cities: Ciudades inteligentes y Sistemas de movilidad inteligentes.

- ❖ Ecodiseño y descarbonización.
- ❖ Ecodiseño como estrategia de la política pública para la mitigación y adaptación al cambio climático.
- ❖ Cumplimiento de políticas de fin de vida.
- ❖ Estrategias para establecer Planes Nacionales de Ecodiseño.
- ❖ Políticas de aplicación y fomento de aplicación del Ecodiseño a distintas escalas industriales.

### **Línea temática 3: Educación para el Ecodiseño.**

- ❖ Metodologías, estrategias y herramientas de enseñanza del Ecodiseño.
- ❖ Modelos de educación para el Ecodiseño.
- ❖ Metodologías para la innovación en la sustentabilidad.
- ❖ Enseñanza en grupos multidisciplinarios para la sustentabilidad.
- ❖ Transversalidad de la enseñanza del Ecodiseño.
- ❖ Educación ambiental como complemento de la formación en Ecodiseño.
- ❖ El enfoque sistémico como aporte conceptual en la enseñanza del Ecodiseño.
- ❖ Investigación en y para el Ecodiseño.
- ❖ Difusión de nuevos patrones de consumo.
- ❖ Conducta ambiental de los consumidores ante productos ecodiseñados.
- ❖ Consumo responsable.

### **Línea temática 4: Tecnologías de frontera y Ecodiseño.**

- ❖ Uso de tecnologías digitales para la innovación y/o producción, en procesos de Ecodiseño.
- ❖ Nuevas tecnologías de producción más eficientes ambientalmente, en el marco de proyectos de Ecodiseño.
- ❖ Materiales ambientalmente homologados (Ecomateriales).
- ❖ Nuevos materiales que generen menor huella ambiental a lo largo de todo su ciclo de vida.
- ❖ Aplicaciones de materiales recuperados a partir del reciclaje.
- ❖ Aplicaciones de materiales recuperados a partir de residuos biológicos.
- ❖ Desmaterialización de productos físicos (Servitización: servicios en lugar de productos).
- ❖ Diseño para la reutilización y el reciclaje.
- ❖ Diseño para la fidelización, para la durabilidad o para la reparabilidad.
- ❖ Diseño para la remanufactura, el reacondicionamiento o la renovación.
- ❖ Diseño para el desmontaje y la estandarización.
- ❖ Diseño para la recuperación de los materiales o de las materias primas.
- ❖ Influencia del Ecodiseño en las cadenas de suministro sostenibles, logística verde y logística inversa.
- ❖ Dispositivos y tecnologías para un bajo consumo de agua y energía.
- ❖ Tecnologías de uso eficiente de recursos.
- ❖ Biomimética y su proyección en procesos de Ecodiseño.

- ❖ Sistemas eficientes y de bajo impacto para acumulación de energía.
- ❖ Eficiencia energética y uso de Energías Renovables No Convencionales (ERNC).

**Línea temática 5: Tecnologías ancestrales y Ecodiseño.**

- ❖ Análisis ambiental de las tecnologías ancestrales.
- ❖ Culturas ancestrales como orientación para el desarrollo de proyectos de Ecodiseño.
- ❖ Cosmovisión ancestral como referente para el desarrollo de proyectos de sustentabilidad.
- ❖ Uso eficiente de los materiales y de las tecnologías en las culturas ancestrales, como inspiración para el desarrollo de proyectos de Ecodiseño.
- ❖ Las tecnologías ancestrales y las lecciones aprendidas para aplicar en proyectos de Ecodiseño.

# Programa

DÍA 1: 29 de octubre

Horario	Actividad						
Auditorio Gimnasio Ignacio Ellacuría, SJ							
8:00-8:30	Registro y café de bienvenida						
8:30-9:00	Inauguración						
9:00-9:45	<b>Conferencia Magistral</b> <b>"Incorporación de técnicas artesanales al proceso de diseño"</b> <i>Pamela Hidalgo, Directora Diseño, México</i> <i>Alexander Hribar, Director Diseño, Austria</i> <i>Studio David Pompa, México</i>						
9:45-10:00	Caso de éxito de Sustentabilidad (Por confirmar)						
10:00-10:40	<b>Presentación del Reto EcodAl-E3</b>						
10:40-11:00	Café / Auditorio Gimnasio Ignacio Ellacuría, SJ						
11:00-11:40	<b>Conferencia Magistral</b> <b>"¿Qué es el Ecodiseño?"</b> <i>Alejandro Chacón, Director General, Ecodiseño CL, Chile</i>						
11:40-12:20	<b>Conferencia Magistral</b> <b>"Análisis de Ciclo de Vida para el Ecodiseño"</b> <i>Nydia Suppen, Directora General, Centro de Análisis de Ciclo De Vida y Diseño Sustentable, México</i>						
12:20-13:00	<b>Conferencia Magistral</b> <b>"Políticas de base para el ecodiseño: experiencias latinoamericanas"</b> <i>Sonia Valdivia, Program Manager Sustainable Recycling Industries&amp;Life Cycle Management World Resources Forum, Suiza</i>						
13:00-14:30	Comida libre						
14:30-16:30	<table border="1" style="width: 100%; text-align: center;"> <tr> <td>Auditorio Gimnasio Ignacio Ellacuría, SJ</td> <td>Auditorio Manuel Aceves, SJ</td> <td>Salón B201</td> </tr> <tr> <td>Aplicación del Ecodiseño</td> <td>Tecnología de frontera y Ecodiseño</td> <td>Educación para el Ecodiseño</td> </tr> </table>	Auditorio Gimnasio Ignacio Ellacuría, SJ	Auditorio Manuel Aceves, SJ	Salón B201	Aplicación del Ecodiseño	Tecnología de frontera y Ecodiseño	Educación para el Ecodiseño
	Auditorio Gimnasio Ignacio Ellacuría, SJ	Auditorio Manuel Aceves, SJ	Salón B201				
Aplicación del Ecodiseño	Tecnología de frontera y Ecodiseño	Educación para el Ecodiseño					
IDIT: J117 -J118	<b>Inicio Reto EcodAl E3</b>						
IDIT-Lobby							
16:50-19:00	Recorrido IDIT /Convivencia de bienvenida						

## DÍA 2: 30 de octubre

Horario	Actividad	
Auditorio Gimnasio Ignacio Ellacuría, SJ		
7:30-8:00	Café de bienvenida	<b>IDIT: J117-J118</b>
8:00-9:50	<p><b>Panel</b></p> <p><b>"Ecodiseño en la educación"</b>  <i>Luis Flores, Académico, ITESO, México</i>  <i>Rubén Carnerero, Director Técnico, IK Ingeniería, España</i>  <i>Miguel Segovia R., Académico, UNAP, Chile</i>  <i>Juan Pablo Segovia R., Académico, UNAP, Chile</i>  <i>Arianet Valdivia, Vicedecana, ISDi, Cuba</i></p>	
Auditorio Gimnasio Ignacio Ellacuría, SJ		<b>Reto EcodAl E3</b>
Auditorio Manuel Aceves, SJ		
9:50-10:20	<p><b>Conferencia</b></p> <p><b>"Industria 4.0"</b>  <i>Raquel Ariza, Directora INTI, Argentina</i></p> <p><b>"Ecodiseño en Cuba. Experiencia de integración en la formación del diseñador"</b>  <i>Arianet Valdivia, Vicedecana de Investigación y Postgrado, ISDi, Cuba.</i></p>	
10:20-10:40	Café / Auditorio Gimnasio Ignacio Ellacuría, SJ	
10:40-11:10	<p><b>Conferencia</b></p> <p><b>"Ecodiseño en el Hábitat"</b>  <i>Leandro Hoyos, Director General LEHO SAS, Colombia</i></p> <p><b>"Ecodiseño desde IHOBE en el Gobierno Vasco"</b>  <i>José María Fernández, Gobierno Vasco, España.</i></p>	<b>Reto EcodAl E3</b>
11:10-11:40	<p><b>Taller</b></p> <p><b>"Experiencia de Chile con la Ley REP"</b>  <i>Martin Alwyn, Chile</i></p> <p><b>"Better by design, empaques sostenibles"</b>  <i>Sonia Valdivia, Program Manager, Suiza. Fredd Sanchez, grupo Union, Perú.</i></p>	
11:40-13:00	Presentación de posters	
13:00-14:30	Comida libre	
Auditorio Gimnasio Ignacio Ellacuría, SJ		<b>Reto</b>
Auditorio Manuel Aceves, SJ		
Salón B201		
14:30-17:30	<p>Presentación de trabajos en modalidad oral</p> <p>Aplicación del Ecodiseño</p> <p>Tecnología de frontera, políticas públicas, educación y Ecodiseño</p> <p>Aplicación del Ecodiseño</p>	
17:30-17:50	Café / Auditorio Gimnasio Ignacio Ellacuría, SJ	
17:50-18:10	<p><b>Presentación de Libro: "Aproximaciones al Ecodiseño"</b>  <i>Isaac Acosta Fuentes, Autor, Universidad Autónoma Metropolitana, México.</i></p>	
20:30	Noche Mexicana	

**DÍA 3: 31 de octubre**

Horario	Actividad				
Auditorio Gimnasio Ignacio Ellacuría, SJ					
7:30-8:00	Café de bienvenida				
8:00-8:40	<b>Conferencia magistral</b> <b>"Aplicación del Ecodiseño: casos de éxito"</b> <i>José María Fernández, Departamento de Medio Ambiente, Planificación Territorial y Vivienda Gobierno Vasco, España</i>				
Auditorio Gimnasio Ignacio Ellacuría, SJ					
Auditorio Manuel Aceves, SJ					
IDIT: J117 -J118					
8:50-10:40	<table border="1"> <tr> <td style="background-color: #4CAF50; color: white;"><b>Panel</b></td> <td style="background-color: #FFEB3B;"><b>Conferencia</b></td> </tr> <tr> <td> <b>"Ecodiseño en las políticas públicas para la producción y consumo sustentable"</b>  <i>Martin Alwyn, Chile</i>  <i>Alejandro Virchez, Director Sustentabilidad NAICM, México</i>  <i>Violeta Trinidad, Directora Ejecutiva, Dale la Cara al Atoyac, México</i>  <i>José María Fernández, Gobierno Vasco, España</i>  <i>Alejandro Chacón, Director General, Ecodiseño CL</i> </td> <td> <b>"Diseño sustentable para la industria"</b>  <i>Sabo Tercero, Founder / Designer. Inventor Studio / Nosso Clo., México</i>   <b>"Selección de materiales y EPD"</b>  <i>Rubén Carnerero, Director Técnico IK Ingeniería, España</i>   <b>"Metodología Ecodiseño CL"</b>  <i>Cecilia Mujica, Coordinadora de proyectos Ecodiseño.cl, Chile.</i> </td> </tr> </table>	<b>Panel</b>	<b>Conferencia</b>	<b>"Ecodiseño en las políticas públicas para la producción y consumo sustentable"</b> <i>Martin Alwyn, Chile</i> <i>Alejandro Virchez, Director Sustentabilidad NAICM, México</i> <i>Violeta Trinidad, Directora Ejecutiva, Dale la Cara al Atoyac, México</i> <i>José María Fernández, Gobierno Vasco, España</i> <i>Alejandro Chacón, Director General, Ecodiseño CL</i>	<b>"Diseño sustentable para la industria"</b> <i>Sabo Tercero, Founder / Designer. Inventor Studio / Nosso Clo., México</i>  <b>"Selección de materiales y EPD"</b> <i>Rubén Carnerero, Director Técnico IK Ingeniería, España</i>  <b>"Metodología Ecodiseño CL"</b> <i>Cecilia Mujica, Coordinadora de proyectos Ecodiseño.cl, Chile.</i>
<b>Panel</b>	<b>Conferencia</b>				
<b>"Ecodiseño en las políticas públicas para la producción y consumo sustentable"</b> <i>Martin Alwyn, Chile</i> <i>Alejandro Virchez, Director Sustentabilidad NAICM, México</i> <i>Violeta Trinidad, Directora Ejecutiva, Dale la Cara al Atoyac, México</i> <i>José María Fernández, Gobierno Vasco, España</i> <i>Alejandro Chacón, Director General, Ecodiseño CL</i>	<b>"Diseño sustentable para la industria"</b> <i>Sabo Tercero, Founder / Designer. Inventor Studio / Nosso Clo., México</i>  <b>"Selección de materiales y EPD"</b> <i>Rubén Carnerero, Director Técnico IK Ingeniería, España</i>  <b>"Metodología Ecodiseño CL"</b> <i>Cecilia Mujica, Coordinadora de proyectos Ecodiseño.cl, Chile.</i>				
Reto EcodAI E3					
10:40-11:00	Café / Auditorio Gimnasio Ignacio Ellacuría, SJ				
Auditorio Gimnasio Ignacio Ellacuría, SJ					
Auditorio Manuel Aceves, SJ					
Salón B203					
IDIT Lobby					
IDIT Innovation Lab					
IDIT J111					
Reto					
11:00-13:00	<b>TALLERES</b>				
1	2	3	4		
1 <i>Módulo I</i>			<i>Demostración</i>		
13:00-14:30	Comida libre				
13:30-16:30	<b>TALLERES</b>				
1	2	5	6	7	8
1 <i>Módulo II</i>	2 <i>repetición</i>				
Auditorio Gimnasio Ignacio Ellacuría, SJ					
17:00-17:30	<b>Premiación Reto EcodAI E3</b>				
17:30-18:00	<b>Clausura Ecodal 2018</b>				

## Talleres miércoles 31 octubre

Auditorio Gimnasio Ignacio Ellacuría, SJ

### Taller 1: "EPD y Ecodiseño"

Módulo I: 11:00 - 13:00 hrs  
Módulo II: 14:30 - 16:30 hrs  
*Rubén Carnerero, Director Técnico IK Ingeniería, España*  
*José María Fernández, Gobierno Vasco, España*

Auditorio Manuel Aceves, SJ

### Taller 2: "Ecodiseño enfocado a las personas"

Horario: 11:00 - 13:00 hrs  
Repetición: 14:30 - 16:30 hrs  
*Raquel Ariza, Directora INTI, Argentina*

Salón B203

### Taller 3: "Cazadores de mitos ambientales"

Horario: 11:00 - 13:00 hrs  
*Amalia Sojo, Directora de SimaPro CADIS, México*

### Taller 5: "Software SimaPro"

Horario: 14:30 - 16:30 hrs  
*Amalia Sojo, Directora de SimaPro CADIS, México*

IDIT Lobby

### Demostración: "Casos de éxito de FabLab IBERO sobre vínculos con artesanos"

Horario: 11:00 - 13:00 hrs  
*Luis Alberto Camacho, Académico, IDIT, México*

### Taller 6: "Ecodiseño del hábitat durante emergencias y desastres"

Horario: 14:30 - 16:30 hrs  
*Leandro Hoyos, Director General LEHO SAS*

IDIT Innovation Lab

### Taller 4: "Experiencia de introducción al Ecodiseño"

Horario: 11:00 - 13:00 hrs  
*Alejandro Chacón, Director Ecodiseño CL, Chile*  
*Cecilia Mujica, Coordinadora de proyectos, Ecodiseño CL, Chile*

### Taller 7: "Aplicación del Ecodiseño en procesos de diseño e industria"

Horario: 14:30 - 16:30 hrs  
*Sabo Tercero, Founder/Designer. Inventor Studio / Nosso Clo., México*

IDIT J111

### Taller 8: "Tintes naturales aplicados a fibras vegetales y animales"

Horario: 13:30 - 16:30 hrs  
*Ignacio Netzahualcōyotl, Artista visual y textil, México*

## Comité Científico

El Comité Científico de EcodAI 2016, fue conformado por expertos profesionales latinoamericanos y europeos con amplio conocimiento en Ecodiseño y temas afines. Su principal tarea fue apoyar la definición de líneas temáticas del congreso, evaluar los resúmenes de las ponencias y posters que participaron en este congreso, y validar y difundir el evento.

**José María Fernández**, Responsable técnico del Basque Ecodesign Center, Centro de Ecodiseño del IHOBE, Gobierno Vasco, España.

**Arianet Valdivia Mesa**, Instituto Superior de Diseño Industrial, Universidad de la Habana, Cuba.

**Raquel Ariza**, Directora del Centro de Diseño Industrial del INTI, Argentina.

**Rubén Carnerero**, Director técnico IK Ingeniería, experto en Certificación de Ecodiseño, España.

**Carlos Naranjo**, Director División Eco-Diseño Gaia Servicios Ambientales, Colombia.

**Paulo Andrés Romero Larrahondo**, Profesor Asociado, Escuela de Diseño Industrial, Universidad Nacional, Colombia.

**Joan Rieradevall**, Coordinador Red Catalana de Análisis del Ciclo de Vida, España.

**Salvador Capuz**, Catedrático/a de Universidad PDI Investigación, España.

**Guillermo Canale**, Ingeniero y Profesor de Ecodiseño, Argentina.

**Claudia Peña**, Presidente de la Red Chilena de Análisis de Ciclo de Vida, Chile.

**Irma Peñuñuri**, Universidad de Monterrey, Directora de Programa Académico de Licenciatura y Posgrado en Diseño Industrial e Ingeniería en Innovación Sustentable y Energía, México.

**Brenda García Parra**, Profesora investigadora, UAM, México

**Alejandro Chacón**, Director General, ECODISEÑO.CL LTDA, Chile

**Cecilia Mujica**, Coordinadora de proyectos, ECODISEÑO.CL LTDA, Chile

**Daniella Parodi**, Diseñadora Industrial, ECODISEÑO.CL LTDA, Chile

**Juan Pablo Chargoy**, Director de Gestión de Ciclo de Vida, CADIS, México.

**Andrés Martínez**, Gestión de Ciclo de Vida, CADIS, México.

## Conferencistas invitados

**Nydia Suppen | Directora EcodAI - CADIS**

**Conferencia: TITULO CONFERENCIA**

“Formadora de Formadores” en Gestión de Ciclo de Vida y Huellas Ambientales para ISO Academy, la Iniciativa de Ciclo de Vida (ONU Ambiente) y World Resources Institute.  
Vice chair del Comité de Ciclo de Vida -ISO TC207-SC5-.  
Coordinó el desarrollo de la norma de Huella de Agua y participó en las normas de ecodiseño y ecoetiquetado.  
Miembro fundador de la Red Latinoamericana de Ecodiseño y la Red Iberoamericana de Ciclo de Vida.  
Fundadora de CADIS, ha realizado más de 300 estudios y formado a más de 100 formadores de ciclo de vida en el mundo.



**Alejandro Chacón | Director EcodAI – Ecodiseño.cl**

**Conferencia: TITULO CONFERENCIA**

Propulsor del Ecodiseño en Chile y Latinoamérica.  
Ingeniero Mecánico, especializado como Ingeniero de desarrollo de productos.  
Docente de la Universidad de Chile.  
Fundador y director de Ecodiseño.cl Ltda.  
Es creador de Ecodal, Congreso Latinoamericano de Ecodiseño



**Sonia Valdivia | Conferencia Magistral**

**Conferencia: TITULO CONFERENCIA**

Directora del WRF en las áreas de 'Industrias de reciclaje sostenibles' y 'Gestión del ciclo de vida'. Miembro del Comité Directivo de la Iniciativa del Ciclo de Vida de las Naciones Unidas y del Comité Asesor de Múltiples Partes del Programa de Información al Consumidor del 10YFP sobre CPS desde 2017. Fundadora de la Red Iberoamericana de Ciclo de Vida que actualmente preside.



**Rubén Carnerero | Conferencia Magistral**

**Conferencia: TITULO CONFERENCIA**

Ingeniero Industrial por la UPV-EHU. Ha dirigido proyectos de Ecodiseño y Ecoinnovación, ACV, Huella de Carbono, etiquetado ambiental de productos y Economía Circular, así como proyectos de implantación de sistemas de gestión de Ecodiseño según la Norma Internacional ISO 14006. Se encuentra homologado como Individual Verifier para la auditoría de Declaraciones Ambientales de Producto (EPD's).



José María Fernández | Conferencia Magistral

Conferencia: **TITULO CONFERENCIA**

Ingeniero industrial mecánico, Diplomado en Estudios Avanzados por el trabajo: "Ingeniería del Diseño Ecológico de Productos Industriales". Responsable de proyectos en Ihobe y del Basque Ecodesign Center. Ha desempeñado trabajo de ingeniero en diseño industrial en la ingeniería de producto Tres D, líder del trabajo técnico de elaboración de la metodología y guías sectoriales de Ecodiseño, Análisis de Ciclo de Vida y ecoetiquetado de producto



Cecilia Mujica | Organizador – Ecodiseño.cl

Conferencia: **TITULO CONFERENCIA**

Diseñadora Industrial de la Universidad de Chile. Especialista en Ecodiseño, Innovación para la Sostenibilidad y Diseño con enfoque sistémico. Actualmente coordinadora de proyectos en Ecodiseño.cl Ltda. y Docente de la Escuela de Ingeniería de la Universidad de Chile. Coordinadora general del Reto EcodAI-E3 de EcodAI 2018.



**Amalia Sojo | Organizador - Simapro**

**Conferencia: TITULO CONFERENCIA**

Ingeniero Industrial, especializada en Análisis de Sustentabilidad en el Ciclo de Vida.  
Trabaja en el Centro de Análisis de Ciclo de Vida y Diseño Sustentable (CADIS) en capacitación, distribución y soporte del software SimaPro para América Latina y el Caribe, así como dirección y desarrollo de proyectos.  
Coordinadora de EcodAI 2018.



**Luis Alberto Camacho | Organizador-Fab lab**

**Conferencia: TITULO CONFERENCIA**

Diseñador Industrial, manager del Fablab Puebla dentro del Instituto de Diseño e Innovación Tecnológica (IDIT) de la Ibero Puebla. Ha obtenido reconocimientos a nivel nacional por proyectos de diseño con enfoque tecnológico y social. Egresado del Fabacademy certificándolo en técnicas de fabricación digital.  
Se dedica a la fabricación digital para proyectos de prototipado rápido, diseño de producto, enseñanza y procesos de democratización tecnológica.



Violeta Trinidad | Conferencia

Conferencia: **TITULO CONFERENCIA**

Maestra en Ciencias para la Administración de Sistemas Urbanos Ambientales por el Instituto Pratt en Nueva York. Cuenta con experiencia en el ámbito privado, público y organizaciones civiles en México y Estados Unidos, principalmente atendiendo temas de sustentabilidad. Actualmente es Directora Ejecutiva de Dale la Cara al Atoyac AC.



Sabo Tercero | Conferencia

Conferencia: **TITULO CONFERENCIA**

Diseñador Industrial Mexicano especializado en comportamiento del consumidor, diseño de producto, fotografía, sustentabilidad industrial, responsabilidad social, ciencias ambientales y desarrollo de negocios orientados al diseño. Fundador de Inventor Studio (2015), Co-Fundador de Nosso Clo. (2016) y Fundación Nosso Clo.\*(2017). Director en el Centro de Educación Tecnológica y Arte • Sala de Audio (2012).



Raquel Ariza | Conferencia

Conferencia: **TITULO CONFERENCIA**

Diseñadora Industrial FADU - UBA. Directora del Centro de Diseño Industrial del Instituto Nacional de Tecnología Industrial (INTI-Diseño Industrial). Responsable del Programa de diseño para la Innovación. Máster Oficial en Dirección de Comunicación UCAM. Docente e Investigadora FADU UBA. Coordinadora del proyecto PCR para Ecoetiquetados del PTB. Ha dirigido numerosos proyectos: de temas tales como gestión de diseño, sustentabilidad, usabilidad, ergonomía, impresión 3D e industria 4.0.



Leandro Hoyos | Conferencia

Conferencia: **TITULO CONFERENCIA**

Arquitecto, especialista en diseño y desarrollo de producto y magister en hábitat sustentable y eficiencia energética.

Su trayectoria incluye el ejercicio profesional en arquitectura y diseño industrial como diseñador, coordinador y director de proyecto, asesor, consultor, inventor y emprendedor y también docente e investigador.



Ignacio Netzahualcóyotl | Conferencia

Conferencia: **TITULO CONFERENCIA**

Artista visual y textil, artesano mexicano perteneciente a una comunidad indígena nahua, Contla de Juan Cuamatzi, Tlaxcala. Sus obras retoman las técnicas originarias que se han transmitido de generación en generación en su comunidad, realizadas con materiales orgánicos.

Dentro de los procesos que ha ejecutado se encuentra la recuperación y difusión en torno a técnicas de teñido prehispánico que aplica en sus piezas textiles, elaboración de pigmentos naturales que aplica en las artes visuales



Arianet Valdivia | Conferencia

Conferencia: **TITULO CONFERENCIA**

Diseñadora Industrial. Master en Gestión e Innovación del Diseño.

Vicedecana de Investigación y Postgrado del ISDi. Categoría Docente Superior: Profesora Auxiliar. Profesora de Postgrado. Coordina el Foro de Diseño Sostenible del Congreso Internacional de Diseño FORMA.

Participa como especialista en el jurado de Diseño de la Feria Internacional de la Habana y en el Sistema de Evaluación de la Calidad de Diseño de la Oficina Nacional de Diseño.



## Comité organizador

**Nydia Suppen**, Directora General, CADIS, México.

**Alejandro Chacón**, Director General, Ecodiseño.Cl, Chile.

**Jose Francisco López Ruiz**, Director del Departamento de Arte, Diseño y Arquitectura (DADA), Ibero Puebla, México.

**Amalia Sojo Benítez**, Directora Sima Pro, CADIS, México.

**Cecilia Mujica**, Coordinadora de proyectos, Ecodiseño. Cl

**Luis Alberto Camacho Luyando**, Académico, Ibero Puebla, México

**Reynaldo Félix**, Director Administrativo, CADIS, México.

**Daniella Parodi**, Diseñadora Industrial, Ecodiseño.Cl, Chile

**Susana Cruz Ramírez**, Coordinadora de la Licenciatura en Ciencias Ambientales y Desarrollo Sustentable, Ibero Puebla, México.

**Juan Pablo Chargoy**, Director de Gestión de Ciclo de Vida, CADIS, México.

**Lea Álvarez Chagoya**, Mercadotecnia y Comunicación, CADIS, México.

**Mariana Hernández Hernández**, Gestión de Ciclo de Vida, CADIS, México.

**Wilebaldo Martínez**, Desarrollo y Soporte TI, CADIS, México.

## Estadísticas

*186 participantes registrados, provenientes de 13 países diferentes: Argentina, Austria, Chile, Colombia, Cuba, España, Francia, México, Perú, El Salvador, Reino Unido, Suiza y Uruguay. El 24% de los participantes fueron académicos provenientes de 22 Universidades, el 45% estudiantes de 23 instituciones educativas y el 31% profesionistas provenientes de 21 organizaciones*



# Experiencia EcodAI

### **1.1 3er Congreso Latinoamericano de Ecodiseño.**

El 3er Congreso Latinoamericano de Ecodiseño, EcodAl México 2018, organizado por el Centro de Análisis de Ciclo de Vida y diseño sustentable, Ecodiseño. CI y la Universidad Iberoamericana Puebla, el cual tuvo lugar del 29 al 31 de octubre de 2018, en las instalaciones de la Universidad Ibero Puebla ([www.ecodal.com](http://www.ecodal.com)).

El 2do Congreso Latinoamericano de Ecodiseño, fue desarrollado del 1 al 3 de noviembre de 2016 en las instalaciones de la Universidad El Bosque en Bogotá, Colombia, fue el resultado de la pasión de muchas personas que creemos que podemos vivir en el planeta tierra de manera sostenible, es decir sin derrochar los bienes naturales que nos brinda el planeta para que nuestros hijos y los hijos de nuestros hijos puedan vivir en un ambiente sano, y satisfacer sus necesidades a través de productos y servicios que permitan la preservación de los ecosistemas.

En el 1er Congreso Latinoamericano de Ecodiseño desarrollado en Santiago de Chile en el año 2014 se buscó despertar el ecodiseño en Latinoamérica, en esta segunda versión se planteó el reto de fortalecer esta visión en Colombia (como país anfitrión), en Latinoamérica y el Mundo. Fortalecer el ecodiseño, implica como tal conocer quienes están trabajando estos temas, difundir y compartir sus conocimientos, poner en marcha nuevos proyectos que permitan trabajar en conjunto esta temática para difundir, formar e involucrar nuevos actores, que es lo que permitirá que el ecodiseño se fortalezca en los diferentes contextos como una cultura que nos invita a producir y a consumir de manera sostenible.

Esperamos con esta tercera versión haber contribuido al fortalecimiento de esta cultura.

### **1.2 Sede**

La [Universidad Iberoamericana Puebla](http://www.iberopuebla.edu.mx) nos abrió sus puertas para llevar a cabo el Tercer Congreso Latinoamericano de Ecodiseño EcodAl 2018. A continuación, el mensaje del rector:

“La Universidad Iberoamericana Puebla es una institución de educación media superior y superior confiada a la Compañía de Jesús, orden religiosa católica fundada por San Ignacio de Loyola con influencia en más de 200 universidades en todo el mundo.

Atenta a los signos de los tiempos y en virtud de sus potencialidades, la Compañía de Jesús ha decidido asumir la educación formal como uno de sus apostolados más dinámicos. Para los jesuitas, la educación es un espacio privilegiado hacia el servicio de la fe y la promoción de la justicia, misión que la Universidad Iberoamericana Puebla recoge y hace propia en su contexto.

En sintonía con las formulaciones del Padre General de la Compañía de Jesús, Adolfo Nicolás, S. J., a la IBERO Puebla le interesa formar personas útiles, con espíritu de justicia y de servicio; no a los mejores del mundo, sino a los mejores para el mundo; a los mejores para “enfrentar las diversas formas de

desigualdad y exclusión social con el fin de promover el desarrollo sostenible, teniendo como horizonte la construcción de una sociedad más justa y humanamente solidaria”.

A sus casi 35 años la IBERO Puebla quiere ser la mejor universidad para la región, para su transformación. La calidad académica es una finalidad clara e irrenunciable, pero sin compromiso social carece de sentido fecundo. Ésta es nuestra más lúcida identidad y nuestra convicción más profunda.

Bienvenidas y bienvenidos,

Dr. Fernando Fernández Font, S.J.  
Rector

### 1.3 Concepto



EcodAI como Congreso posee un logotipo diseñado en 2014, basado en la geografía de Latinoamérica, el cual incluye colores y geometrías que se relacionan con la artesanía autóctona.

El logotipo para EcodAI México 2018 se inspiró en la identidad mexicana en la temporada en la que se realizó el evento, siendo la festividad de día de muertos la que enmarcó el diseño de pétalos de flor de cempasúchil como una forma de retomar lo ancestral, lo bien hecho, por eso el lema Kuali Nextiyotl: El ecodiseño desde nuestras raíces. Este logo lo diseñó Daniella Parodi, perteneciente al equipo creativo de Ecodiseño. CI.

***Kuali Nextiyotl*** es el buen diseño, aquel que considera que el producto cumpla su función de manera eficiente, minimizando los impactos ambientales en el ciclo de vida. Para lograrlo se apoya en las mejores herramientas de análisis disponible y en los datos de ciclo de vida.





# Trabajos de investigación

## 2.2 APLICACIÓN DEL ECODISEÑO

### **2.2.1 Evaluación de Impactos Ambientales en la industria mampostera: Caso de Estudio del Bloque No. 5 en Cundinamarca, Colombia**

**Medina Campos, Liliana:** Bióloga Marina, MSc Ciencias de la Tierra, LEED AP BD+C. Docente investigadora en temáticas de recursos y sostenibilidad para el sector edificatorio.

**Cubides Pérez, Adriana:** Arquitecta Especialista en Gerencia de Proyectos. Docente investigadora en temáticas de recursos y sostenibilidad para el sector edificatorio.

**Hinestrosa Ayala, Luz Amparo:** Arquitecta Especialista en Patología de la Construcción, Docente investigadora en temáticas de recursos y sostenibilidad para el sector edificatorio.

**Ballén Zamora, Sergio Alfonso:** Arquitecto MSc en Arquitectura, Ciudad y Medio Ambiente, MSc. en Hábitat. Docente investigador en temáticas de urbanismo sostenible.

**Dirección: Calle 34 No. 5-71. Bogotá. Código Postal 110311. Colombia. Tel: +5712453751**

**Email: [Imedinac@unicolmayor.edu.co](mailto:Imedinac@unicolmayor.edu.co)**

#### **RESUMEN**

El amplio uso de los mampuestos de arcilla, asociando la producción de estos materiales a una fuerte actividad extractiva, ha sido poco evaluada en sus impactos ambientales en Colombia, considerándose este sector como uno de los de mayor uso y suministro para los procesos constructivos. La identificación y evaluación de impactos ambientales para el Bloque No. 5, fundamentados integralmente en el concepto de Análisis de Ciclo de Vida (ACV), acotado “de la cuna a la puerta”, se desarrollaron con la herramienta SIMAPro v8, con el fin de generar una primera aproximación a la información necesaria para la generación futura de una Declaración Ambiental de Producto para este insumo de construcción. El ACV resultante permite evidenciar que los mayores impactos son generados en la fase extractiva, asociándose posiblemente a los cambios de uso de suelo y efectos disruptivos de la actividad minera, afectándose principalmente los ecosistemas acuáticos y terrestre, sumando a esto las emisiones asociadas a la extracción de materia prima, aportando al calentamiento global y agotamiento de ozono. Los principales impactos asociados a los procesos de transformación, como el calentamiento global, así como la demanda energética se evidencian al consumo de combustibles fósiles, en los procesos de secado y cocción, se relaciona con las fuentes caloríficas como gas y carbón utilizadas, así como el consumo de electricidad de la maquinaria requerida para la transformación. El insumo evaluado en su transformación (mezclado) registró los mayores consumos de agua, resaltándose que la verificación in situ, permitió validar que se utiliza agua lluvia captada en cubiertas de la planta de proceso, por lo que se utilizó para el ACV el indicador de Escases de Agua, considerando la dependencia del aporte de la lluvia y la vulnerabilidad Climática de Colombia asociada a la fase cálida del ENOS.

#### **PALABRAS CLAVE**

**ACV, DAP, Mampostería, impactos, extracción.**

## INTRODUCCIÓN

La industria a nivel global, en sus diferentes sectores, han sido las responsables del aumento de las emisiones de Gases Efecto Invernadero (GEI) con valores de 10.4 GtCO<sub>2</sub>eq en 1990, 13.0 en 2005 GtCO<sub>2</sub>eq y de 15.4 GtCO<sub>2</sub>eq (Fischedick M., 2014); con el sector edificatorio se asocia de forma directa un incremento del 3%, considerándose que las emisiones indirectas de las edificaciones por el sector industrial, en una alta confianza, se encuentran en aumento y en total para el sector de edificación contribuyen de forma directa con el 6.4% de las emisiones (IPCC, 2014). De igual forma, las emisiones de GEI asociadas al sector energético por consumos del sector industrial y la operación de todo tipo de edificaciones, se esperan incrementen de forma significativa (IPCC, 2014).

El sector de mampostería, no es referido de forma específica por el IPCC, a diferencia de sectores que, en 2012, como el Cemento con emisiones de 3400 Mt CO<sub>2</sub> (1352.35 Gt CO<sub>2</sub> referidas en 2014), el Acero con 3400 MtCO<sub>2</sub> o el Aluminio con 44.9 Mt CO<sub>2</sub> fueron incluidos. Sin embargo, se refiere que las actividades de Minería-Cantera (como puede ser la extracción de la arcilla como materia prima), incrementaron en un 2.7% sus emisiones (IPCC, 2014), sin que se suministre un dato específico.

Considerando la migración de la economía en un marco global, las necesidades de los diferentes sectores económicos y la fuerte presión sobre las materias primas, así como los impactos que los procesos extractivos generan, se conciben 2 líneas de acción complementarias como son el Análisis de Ciclo de Vida (ACV) y la Economía Circular: la primera como herramienta que permita a los países en desarrollo, identificar fuentes de información primaria, generación de inventarios y evaluación de impactos ambientales con el fin de evitar estados altos de afectación y permitan en conjunto con los tomadores de decisiones y productores planificar acciones de mejoramiento en el sector industrial (Gheewala, 2017); la segunda como una hoja de ruta que permita al sector industrial, innovar y dar valor a sus productos, enfrentando el reto de cerrar los ciclos de materiales y permitir una regeneración natural, evaluando estrategias de reintegración de insumos y sub-producto en las diferentes cadenas de producción (Forum, 2014).

Considerando la industria mampostera, como una de las que suministra mayor cantidad de productos para las edificaciones en América Latina, la evaluación de los impactos ambientales y la comunicación efectiva del desempeño ambiental de los productos mamposteros, requieren de un ejercicio aplicado del ACV que, como insumo primario, permita al sector de producción de mampuestos, generar los mecanismos de comunicación del desempeño ambiental de sus productos.

El consumo de los recursos, los impactos ambientales y el Cambio Climático han planteado desde la década 1980-90, la necesidad de identificar, cuantificar y reportar las afectaciones ambientales generados por las diferentes actividades que se desarrollan en el planeta (acción antrópica), más aún, en relación con los sistemas productivos. Identificar, cuantificar y evaluar los impactos ambientales, así como la adopción de metas y estrategias de mitigación a nivel global, fueron el tema principal de acuerdos sin precedentes en 2015: Los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) en la Agenda de Desarrollo a 2030 y el Acuerdo de Cambio Climático.

Los ODS facilitan una hoja de ruta que requiere una adopción integral del concepto de Ciclo de Vida, que se aplique a la evaluación de los puntos críticos de cada país, como puede ser el sector industrial (Initiative, 2016). El desarrollo de los ACV en los procesos productivos, permite identificar las fases de producción que generan mayor cantidad de emisiones e impactos ambientales, de forma tal que se puedan proponer acciones de forma efectiva y eficiente.

Desde la década de 1980-90, Europa, consciente de la necesidad de responder sin restricciones a las afectaciones ambientales, cuenta con una amplia y permanentemente actualizada base de datos de impactos ambientales, como insumo principal de los esquemas de estudios de impacto ambiental y extensos ejercicios de evaluación de ACV con una plataforma que contribuye al desarrollo de las DAP,

liderando una fuerte tendencia al uso obligatorio de las mismas (Arvizu-Piña, 2017), por lo que su desempeño frente a las metas de logro de los ODS, se considera el de mayor eficacia.

El sector productivo, específicamente de insumos de construcción, frente a la transición, desde los procesos productivos tradicionales o altamente impactantes al ambiente, hacia la identificación de los impactos ambientales asociados a las diferentes fases de producción que faciliten toma de decisiones para reducir estos impactos, argumenta como puntos críticos: a) la información es “imperfecta”, b) aversión al riesgo, c) falta de conocimiento y d) personal no calificado en los temas requeridos (Lucon O., 2014).

Considerando el entorno regional, los avances en países como México, forzados por macroproyectos como la construcción del nuevo Aeropuerto Internacional, proyecto que busca obtener la certificación LEED v4 (Latin America EPD®, 2018), ha generado una demanda por los ACV con la finalidad de obtención de DAP, evidenciándose así, como el carácter diferenciador del desarrollo de investigación aplicada y consolidación de información primaria de relevancia en términos ambientales, son mecanismos de una migración a crecimiento verde y negocios sostenibles.

Frente a las necesidades de Colombia en materia de lineamientos de sostenibilidad para bienes y productos (Sostenible, 2017), la generación de instancias como la Unidad Administrativa Especial: Agencia Nacional de Contratación Pública-Colombia Compra Eficiente (CCE), así como la evolución normativa con la Política de Compras Públicas Sostenibles (CPS) y la Política Nacional de Producción y Consumo Sostenible, que existe desde 2010, normatividad que obliga al mayor contratista, *El Estado*, a la promoción de la inclusión de criterios de sostenibilidad en los procesos productivos de los insumos que adquiera, debe fundamentarse en el uso de materiales sostenibles y promover a fabricantes y proveedores hacia procesos de producción más sostenible (Sostenible, 2017).

Colombia en relación con la aplicación del ACV al sector de producción de insumos de construcción, específicamente al mampostero, demuestra un avance escaso. El desarrollo de avances se encuentran en la evaluación de procesos de generación calórica para la fabricación de bloques y ladrillos, trabajo liderado por la Corporación Ambiental Empresarial-CAEM, logrando identificar las principales fuentes combustibles y las emisiones asociadas a la fabricación de estos insumos (CAEM-CCB-FUNDACIÓN NATURA-MCV, 2015). Sin embargo, una evaluación integral de impactos desde un ACV, es incipiente.

El presente trabajo, muestra el avance en un ejercicio de aproximación a la aplicación de la metodología ACV al sector mampostero, tomando como unidad funcional el Bloque de Arcilla hueco no. 5, acotándose el ACV de “la cuna a la puerta”, requiriéndose para los resultados presentados en el presente trabajo, la definición del modelo (entradas y salidas), así como la caracterización de cada fase, de forma tal que el uso de la herramienta SIMAPro v8, generara la resultante de los impactos y poder evaluar este insumo, con la finalidad futura del desarrollo de un DAP, para uno de los materiales de construcción más utilizados en Colombia.

## **METODOLOGÍA**

La metodología de ACV se fundamenta en la ISO 14044 (ICONTEC, 2012), para lo cual se definió con base en la Regla de Categoría de producto, la unidad funcional, el flujo de referencia y se acotó el alcance (de la cuna a la puerta). De igual forma se consolidó la descripción del producto objeto de estudio (ver

Figura 1).

Con base en la información suministrada por el fabricante y verificada in situ, se generó la descripción del proceso, definiendo las entradas y salidas del sistema, así como los diferentes tipos de consumos energéticos, fuentes combustibles e ingresos de agua (ver Figura 2)

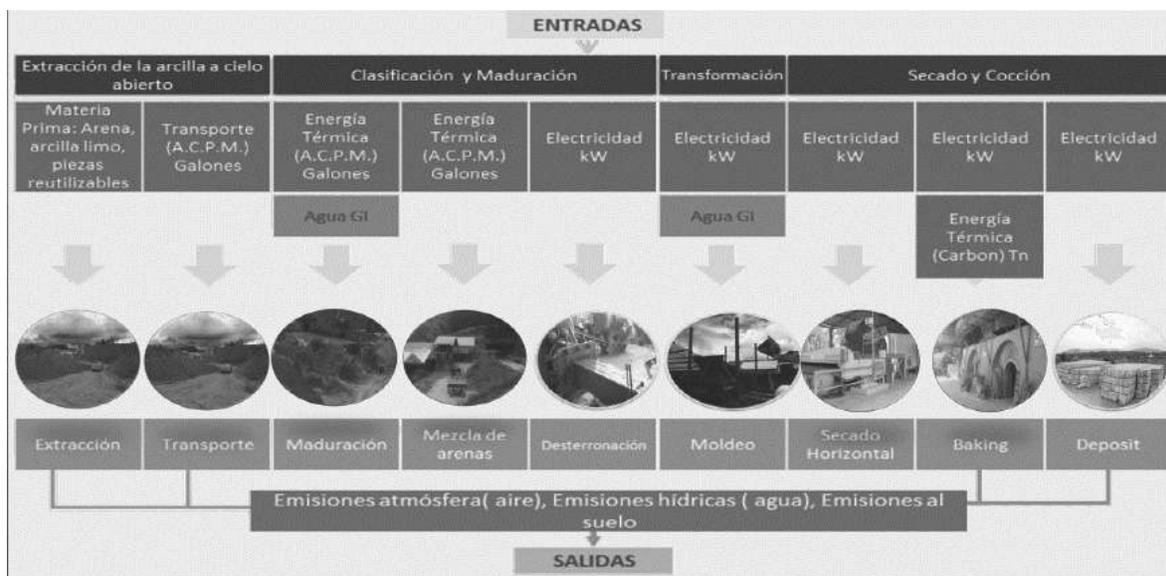
La consolidación de la información base, permitió establecer los lineamientos de ingreso para el SIMAPro v8. Se establecieron como premisas la evaluación de huella de carbono y huella de agua, considerando. La metodología de evaluación se definió con base en la demanda de energía (Cumulative Energy Demand v1.08) y acorde a la recomendación del Ing. MSc. Juan Pablo Chargoy (CADIS-México), se seleccionó la opción de escases de agua (Pfister et al, 2009), considerando la fuente principal de

suplencia de agua (entrada al proceso productivo, fases de maduración y moldeo), al ser agua lluvia captada en cubierta, validándose el no uso de agua potable en la fabricación, pero con una alta dependencia de la precipitación (ver Tabla 1)

**Figura 1 Alcance del ACV y Características de la Unidad Funcional**



**Figura 2 Descripción general del proceso**



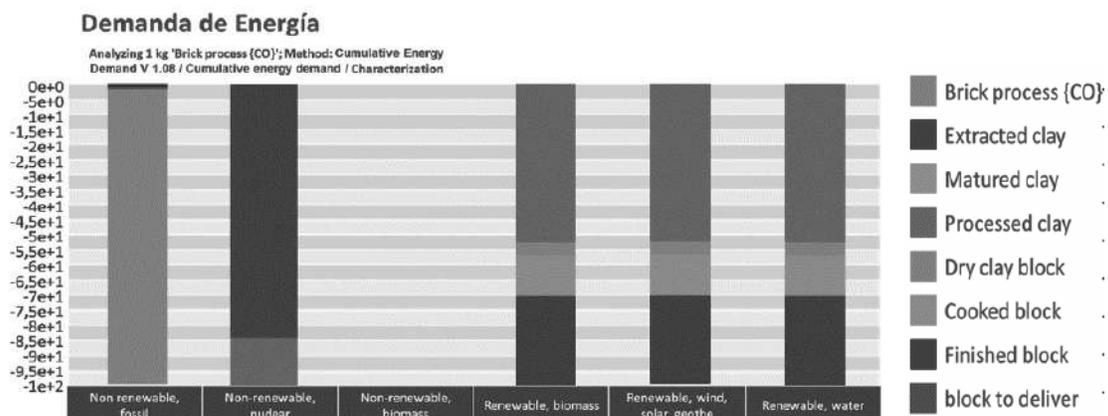
**Tabla 1 Definición de estructura SIMAPro v8**

EVALUACIÓN ACV – CML IA Baseline V 3.01	
<b>Categorías de Impacto</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Huella de CARBONO (GHG)</li> <li>Huella de agua</li> </ul>
<b>Herramientas</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>SIMAPro Version 8</li> <li>ECOINVENT</li> <li>Cumulative Energy Demand v 1.08</li> <li>Water Scarcity. Pfister et al (2009)</li> </ul>
<p><b>Estudios similares – Mexico <sup>1</sup></b>            1,18 Kg CO<sub>2</sub> /unit            2,5 kg H<sub>2</sub>O (drinking water)/unit</p> <p><small>1. Chagny, P.P et al (2009). Generación de inventarios para el Análisis de Ciclo de Vida de cemento, block, teja, albañilería y ladrillo en la zona central de México.</small></p>	

## RESULTANTES

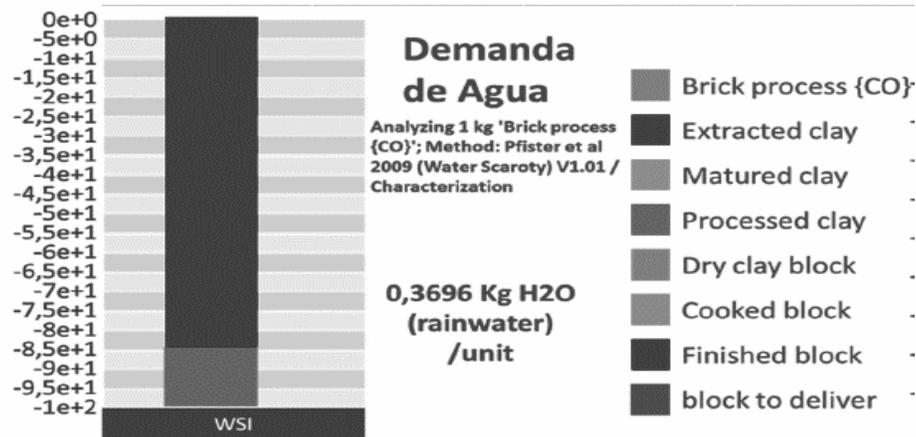
La herramienta SIMAPRO v8, generó para este insumo y objetivos planteado, tres (3) principales resultantes. En relación con la demanda de energía, el mayor flujo y demanda de energía se concentra en el proceso de extracción de la arcilla a cielo abierto y su demanda de combustibles fósiles como el diesel y el petróleo, necesarios para la operación de las maquinarias (ver Figura 3). Los resultados muestran las etapas de procesamiento de la arcilla, la cocción del bloque y su secado muestran relación con los diferentes orígenes de energía renovable. Las etapas de extracción de la arcilla en primer lugar y de procesamiento en segundo lugar están vinculadas con energías no renovables de origen nuclear; por otro lado, la etapa de secado del bloque está comprometido casi enteramente con energías no renovables de origen fósil debido al uso de carbón para el uso de la secadora horizontal. Debe referirse aquí, que, para este caso específico, la planta de producción, para la cocción del bloque, utiliza carbón natural.

**Figura 3 Resultante de la demanda de Energía**



La resultante para el recurso agua, evidenció que, la mayor demanda se asocia a la actividad extractiva (ver Figura 4) de la arcilla como materia prima, seguida del procesamiento, específicamente para la fase de moldeado.

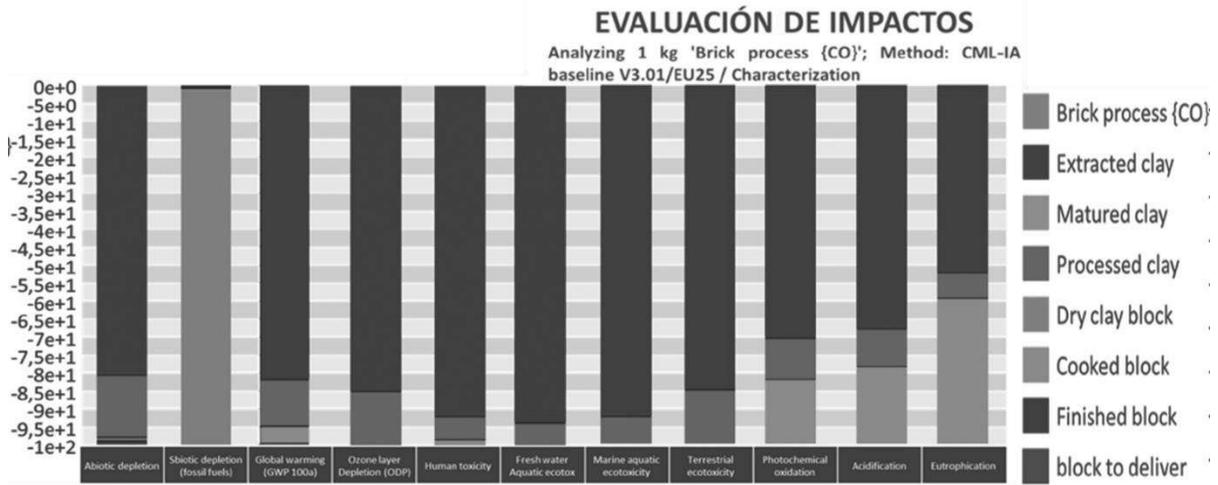
**Figura 4 Resultante Demanda de Agua**



Cabe aclarar que durante el presente estudio no se realizó una medición o evaluación de forma directa en la fase de extracción en patios de arcilla. Sin embargo, es entendible el valor de la demanda de agua para esta fase, considerando que las rocas fuente, para la actividad extractiva, requieren agua para el proceso, pero, sobre todo se traduce en la afectación de la dinámica de las aguas superficiales y subterráneas, la interrupción, redireccionamiento de flujos, extracción y desecación de acuíferos y la capacidad de almacenamiento y regulación del agua. Adicionalmente, el incremento en la sedimentación y la contaminación por mezclas con aguas industriales de mala calidad (Garzón, 2013). Si bien el sector de extracción de arcilla para la industria de mampuestos no tiene información base de consumos de agua (específica por cada frente de explotación), la Unidad de Proyección Minero-Energética (UPME), generó una evaluación global del uso del agua en el proceso minero (explotación, en algunos casos para Beneficio y Transformación), incluyendo el uso del agua, el recurso evacuado de la mina y que es vertido a alguna fuente de agua superficial o bien podría ser utilizada en la planta de beneficio (UPME, 2017). Considerando que en Arcillas de Colombia, el agua que se usa para la fase de producción es agua verde (agua de lluvia captada), con un total de 0,3696 Kg H<sub>2</sub>O (lluvia) /unidad, este valor es comparativamente menor al referido para México (Chargoy Amador, 2009) de 2,5kgH<sub>2</sub>O(potable)/unidad. Debe destacarse la procedencia del recurso, puesto que al ser captada de cubiertas en la Planta y no generarse una desviación o afectación de un cuerpo de agua, se refleja en la demanda baja que se evidencia en la resultante de SIMAPro.

Para evaluar la caracterización del proceso de producción de la mampostería en varias categorías de impacto, se utilizó la metodología de evaluación de impacto CML –IA baseline V3.01, esta metodología está definida para un enfoque de impactos de punto medio que proporciona normalización, pero no ponderación ni adición. La resultante de impactos ambientales (Figura 5), permitió evidenciar que, en relación con las categorías de impactos de potencial de calentamiento global, acidificación, oxidación fotoquímica y toxicidad humana, los mayores valores corresponden a la fase extractiva, resaltándose que, en la fase de cocción, los impactos acidificación, oxidación fotoquímica y potencial de calentamiento global son los siguientes en relevancia.

**Figura 5 Resultante Evaluación de Impactos**



Considerándose que la aplicación de la metodología de ACV es de reciente aplicación en Colombia, no se cuenta con resultados en el país, con los cuales comparar de forma consistente los resultados obtenidos en el presente estudio. Sin embargo, como referencia en términos de medición de variables de Material Particulado PM10, se menciona la resultante de PM10 para producción de ladrillo en hornos artesanales en el municipio de Nemocón (Cundinamarca), trabajo de grado de Maestría del Ing. Diego Alexander Parra – Universidad de Averno, Portugal (*com.pers*), donde los resultados de mediciones, evidenciaron valores por encima de 100µg/m3 de PM10, valor de referencia por la normatividad ambiental Colombiana (Resolución 2254 de 2017 – Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible). En general, la etapa de extracción de la arcilla tiene la mayor parte de los impactos en casi todas las categorías y, en segundo lugar, pero en menor proporción el procesamiento de la arcilla. La extracción tiene como entradas desde la naturaleza la extracción de arcilla, limo, arena y agua; y como entradas conocidas desde la tecnosfera el uso de excavadora hidráulica y de las volquetas para transportar el material en diferentes distancias. La etapa de cocción del bloque de arcilla presenta impactos notables en las categorías de oxidación fotoquímica, acidificación y especialmente eutrofización, debido al uso del carbón y las emisiones de CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O, CO, SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, entre otros. La etapa de secado de los bloques tiene un impacto casi totalmente relacionado en la categoría de agotamiento de recursos abióticos relacionada con combustibles de origen fósil por el uso de carbón y electricidad en la máquina de secado horizontal.

Considerándose el interés futuro de generación de una DAP, se presenta (Figura 6), la propuesta inicial de la información que contendrá esta comunicación, para el Bloque No. 5

**Figura 6 Propuesta de Información para futuro DAP del Bloque No. 5**

DECLARACIÓN AMBIENTAL DEL PRODUCTO (DAP)		POTENCIAL DE IMPACTOS AMBIENTALES				
Unidad Declarada: 1 Und. de Bloque de arcilla No. 5		UNIDAD	EXTRACCIÓN	PRODUCCION	ENVIO	
Descripción del producto:	Según la Norma Técnica Colombiana 4205, numeral 3.1.2.2: las 'Unidades para mampostería no estructural, son aquellas que se utilizan para muros divisorios o de cierre que únicamente atienden las cargas debidas a su propio peso'.	Huella del agua	kg H <sub>2</sub> O (rainwater)/unit	0,3696		
		Agotamiento Abiótico	Kg Sb eq	-8e+1	-1,8e+1	-2e0
Dimensiones	Ancho: 9 cm Largo: 22 cm Alto: 32cm	Agotamiento Abiótico (Combustibles fósiles)	Kg Sb eq	-1e+2		
		Calentamiento Global	Kg CO <sub>2</sub> eq	-8,2e+1	-1,7e+1	-1e0
Composición	Arcilla 70% Arena-Limo 25% Contenido Pre-consumo (Chamola) 5% Agua	Agotamiento de Ozono	Kg CFC11 eq	-8,5e+1	-1,4e+1	-1e0
		Toxicidad Humana	kg 1,4-DB eq	-9,2e+1	-7e0	-1e0
Peso	Inicial 7 Kg Seco 4,1 Kg Cocido 5,6 Kg	Ecotoxicidad Acuática Agua Dulce	kg 1,4-DB eq	-9,35e+1	-5,5e0	-1e0
		Ecotoxicidad Acuática Agua Marina	kg 1,4-DB eq	-9,1e+1	-8e0	-1e0
Rendimiento	13 (unidad/m <sup>2</sup> )	Ecotoxicidad Terrestre	kg 1,4-DB eq	-8e+1	-1,9e+1	-1e0
		Oxidación Fotoquímica	kg C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> eq	-7,1e+1	-2,8e+1	-1e0
		Acidificación	kg SO <sub>2</sub> eq	-6,8e+1	-3,1e+1	-1e0
		Eutrofización	kg PO <sub>4</sub> eq	-5,2e+1	-4,7e+1	-1e0

## CONCLUSIONES

Las actividades extractivas para la fabricación del Bloque No.5 concentra los mayores impactos ambientales.

Los impactos de afectación a ecosistemas acuáticos y terrestre, así como aporte al calentamiento global y agotamiento de Ozono, relacionados a la fase de extracción de materias primas, pueden estar relacionados con el cambio de uso de suelo y los efectos disruptivos de la actividad minera.

La alta demanda energética, asociada a combustibles fósiles, en los procesos de secado y cocción, se relaciona con las fuentes caloríficas como gas y carbón utilizadas.

La demanda energética asociada a la transformación (previo secado y cocción) se relacionan con el consumo de electricidad de la maquinaria.

Se utiliza el indicador de Escases de Agua, considerando la dependencia de agua lluvia para el mezclado y la vulnerabilidad Climática de Colombia asociada a la fase cálida del ENOS.

La alta demanda en la fase de extracción se atribuye a la actividad minera, relacionándose así con los impactos referidos a ecosistemas acuáticos.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Arvizu-Piña, V. y. (2017). Promoting sustainability in Mexico's building sector via environmental product declarations. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 1744–1759. doi:10.1007/s11367-017-1269-z
2. CAEM-CCB-FUNDACIÓN NATURA-MCV. (2015). *REPORTE DE HUELLA DE CARBONO CORPORATIVA DE ARCILLAS DE COLOMBIA S.A. AÑO BASE 2012*. Bogotá.
3. Chargoy Amador, J. P. (2009). *Generación de inventarios para el Análisis de Ciclo de Vida de cemento, block, bovedilla, vigueta y ladrillo en la zona centro de México*. Puebla, Mexico.
4. Fishedick M., J. R.-A.-P. (2014). Industry. En O. R.-M. Edenhofer, *Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. UK, New York: Cambridge University Press.
5. Garzón, N. (2013). ANÁLISIS PRELIMINAR DE LOS IMPACTOS AMBIENTALES Y SOCIALES GENERADOS POR LA MINERÍA DE ARCILLAS A CIELO ABIERTO EN LA VEREDA EL

MOCHUELO BAJO, CIUDAD BOLÍVAR, BOGOTÁ D.C., ESTUDIO DE CASO. Bogotá: Tesis de Grado. Pontificia Universidad Javeriana.

6. Gheewala, S. S. (2017). Promoting Sustainability in Emerging Economies via Life cycle Thinking. *The international Journal of Life Cycle Assessment*, (2017) 22: 1641. .
7. ICONTEC. (2012). Norma Técnica Colombiana NTC- ISO 14040. Gestión Ambiental. Análisis de Ciclo de vida. Principios y Marco de Referencia. Colombia: ICONTEC.
8. Initiative, L. C. (11 de Enero de 2016). *Life Cycle Initiative*. Obtenido de Life Cycle Initiative: <https://www.lifecycleinitiative.org/paris-agreement-sustainable-development-goals-life-cycle-thinking/>
9. IPCC. (2014). *Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment*. Cambridge University Press.
10. Latin America EPD®. (31 de Agosto de 2018). *Hub EPD Latin America*. Obtenido de Hub EPD Latin America: <https://www.epd-americalatina.com>
11. Lucon O., D. Ü.-V. (2014). Buildings. . En I. F. Report, *Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel*. UK, New York: Cambridge University Press.
12. Mekonnen MM, P. M. (2015). Sustainability, efficiency and equitability of water consumption and pollution in Latin America and the Caribbean. *Sustainability* 7(2):, 2086-2112.
13. Pfister S, K. A. (2009). Assessing the environmental impacts of freshwater consumption in LCA. *Environmental Science Technology*, 43(11):4098–4104.
14. Sostenible, M. d. (2017). Plan de Acción Nacional de Compras Públicas Sostenibles 2016-2020. Bogotá.
15. UPME. (22 de 11 de 2017). Obtenido de [http://www.upme.gov.co/seccionmineria\\_sp/areas\\_intervenidas.pdf](http://www.upme.gov.co/seccionmineria_sp/areas_intervenidas.pdf)

## **2.2.2 Análisis de ciclo de vida comparativo de la huella ambiental del uso de encendedores recargables y no recargables, para su ecodiseño.**

### **Autores:**

#### **José Luis Canga Cabañes.**

Ingeniero Forestal y MBA, con más de 32 años de experiencia en medio ambiente, en Análisis de Ciclo de Vida, Declaraciones Ambientales de Producto, Huella Ambiental, Huella de Carbono y Huella de Agua. Profesor de postgrado y Máster en Universidades Españolas y Latinoamericanas.

#### **José Magro González.**

Ingeniero Forestal y Máster en Gestión Ambiental. Más de 20 años de experiencia en certificación y verificación, cambio climático, huella de carbono, hídrica y ambiental, ecodiseño, ACV, DAPs, etc. Profesor de numerosos cursos, seminarios nacionales e internacionales.

#### **Virginia Martín Pérez**

Técnico Ambiental con más de 12 años de experiencia en medio ambiente. Amplia experiencia en Análisis de Ciclo de Vida, Declaraciones Ambientales de Producto, Huella Ambiental, Huella de Carbono y Huella de Agua. Profesor de postgrado y Máster en Universidades Españolas.

**Dirección Autor 1:** calle Poza de la Sal, 8; 3ªA; Madrid 28031; España. Tfno. móvil: (+34) 639-901-043

**Email Autor 1:** jlcanga@abaleo.es

### **RESUMEN**

La ponencia presenta los resultados de un Análisis de Ciclo de Vida comparativo, cuyo objetivo es:

- Evaluar si es ambientalmente más favorable utilizar encendedores recargables o no recargables; y orientar la decisión de la compañía sobre los productos a fabricar.
- Evaluar qué elementos y procesos del encendedor recargable son claves para minimizar los impactos ambientales del ciclo de vida (de la cuna a la tumba), de manera que pueda optimizarse su diseño.
- Disponer de argumentos sólidos y fiables para desarrollar campañas de marketing ambiental.

Los resultados indican que, desde el punto de vista ambiental, es preferible fabricar encendedores recargables y que es clave economizar en el consumo de materias primas. La evaluación de impactos se ha realizado con la metodología ILCD 2011 Midpoint+, propuesta por la Unión Europea para medir la Huella Ambiental de un Producto.

Los resultados son más favorables para los encendedores recargables, cuanto más eficiente es la moleta y más piedras de encendido permite usar; y cuanto más largos son los encendidos (cuanto más gas se consume). Ambas circunstancias hacen que aumente el número de encendedores no recargables equivalentes y con ello el empleo de materias primas, que es lo que más contribuye a la categoría de impacto ambiental más importante.

Desde el punto de vista del ecodiseño, se debe trabajar el diseño de encendedores recargables que empleen las materias primas indispensables, con piedras y moletas eficientes que maximicen el número de encendidos. Se deben facilitar al consumidor instrucciones para un uso eficaz de las recargas de gas.

Por tratarse de un ACV comparativo, el estudio ha sido verificado por una tercera parte independiente, frente a las normas ISO 14040 y 14044.

### **PALABRAS CLAVE:**

**Ecodiseño, Análisis Ciclo Vida, ACV comparativo, Huella Ambiental, Verificación**

## **SUMMARY**

The paper presents the results of a comparative Life Cycle Analysis, whose objectives are:

- Assess whether it is environmentally more favorable to use rechargeable or non-rechargeable lighters; and guide the decision of the company on the products to be manufactured.
- Evaluate what elements and processes of the rechargeable lighter are key to minimize the environmental impacts of the life cycle (from cradle to grave), so that its design can be optimized.
- Have solid and reliable arguments to develop environmental marketing campaigns.

The results indicate that, from the environmental point of view, it is preferable to manufacture rechargeable lighters and that it is key to economize on the consumption of raw materials. The evaluation of impacts has been carried out with the ILCD methodology Midpoint +, proposed by the European Union to measure the Environmental Footprint of a Product.

The results are more favorable for rechargeable lighters, the more efficient the moleta is and the more ignition stones it allows to use; and the longer the ignitions are (the more gas is consumed). Both circumstances increase the number of equivalent non-rechargeable lighters and thus the use of raw materials, which contributes the most to the most important category of environmental impact.

From the point of view of ecodesign, we must work on the design of rechargeable lighters that use the indispensable raw materials, with efficient stones and moleta that maximize the number of ignitions. Instructions for efficient use of gas refills should be provided to the consumer.

Because it is a comparative LCA, the study has been verified by an independent third party, against the ISO 14040 and 14044 standards.

### **KEYWORDS:**

**Ecodesign, Life Cycle Analysis, Comparative LCA, Environmental Footprint, Verification**

## **1. INTRODUCCIÓN.**

El objeto de esta ponencia es presentar los resultados del estudio realizado por Abaleo S.L. para un fabricante de encendedores recargables, cuyo objetivo es:

- Saber si, considerando el Ciclo de Vida completo, es ambientalmente preferible que los encendedores sean recargables o no recargables.
- Conocer las piezas y procesos del encendedor que resultan claves para que el encendedor recargable pueda minimizar los impactos ambientales de su ciclo de vida, orientando así a los diseñadores para que introduzcan el ecodiseño en sus decisiones.
- Obtener información solvente para desarrollar campañas de marketing ambiental.

Para dar respuesta a estas cuestiones se realizó un Análisis de Ciclo de Vida comparativo aplicando la metodología ILCD 2011 Midpoint+, propuesta por la Unión Europea para evaluar la Huella Ambiental. Por tratarse de un ACV comparativo, el estudio fue sometido a verificación de tercera parte independiente.

## **METODOLOGÍA EMPLEADA.**

La metodología empleada ha sido la realización de un Análisis de Ciclo de Vida de dos modelos de encendedores recargables (grande y pequeño) y otros dos no recargables (sus respectivos equivalentes).

Para la realización del ACV se han seguido las indicaciones de las normas ISO 14040 e ISO 14044; y se ha tomado como referencia la “*RECOMENDACIÓN DE LA COMISIÓN EUROPEA, de 9 de abril de 2013, sobre el uso de métodos comunes para medir y comunicar el comportamiento ambiental de los a lo largo de su ciclo de vida*”.

### **Sistema de producto estudiado.**

El sistema de producto estudiado en el ACV comparativo incluye las fases de Aguas Arriba y el Proceso principal.

Para uno de los encendedores se ha evaluado también el consumo de gas en la fase de uso y la fase de Aguas Abajo (transporte a distribución comercial, gestión al final de la vida útil), en un análisis de sensibilidad realizado con objeto de evaluar el peso de algunos procesos en la carga ambiental del Ciclo de Vida completo.

En el ACV se ha estudiado más del 99% en peso de los materiales y de la energía empleados en la fabricación de los encendedores, tanto en la fase de Aguas Arriba, como en el Proceso Principal.

### **Unidad funcional.**

La función desarrollada por el sistema de producto es la fabricación de encendedores que permiten producir una llama, para distintos usos, en condiciones de seguridad para el usuario.

La unidad funcional elegida es el número de encendidos que permite el uso de un encendedor recargable, a lo largo de su vida útil, con el número de piedras que permite la vida útil de una moleta (la pieza que hace saltar la chispa al friccionar con la piedra) y la cantidad de gas necesaria para la plena recarga de este, las veces necesarias, hasta el agotamiento de la moleta.

### **Regla de corte.**

Como regla general, se ha incluido el peso/volumen bruto de todos los materiales utilizados en el proceso de fabricación de los encendedores, de manera que se obtenga al menos el 99% del peso de la unidad de producto.

### **Fase de Aguas Arriba.**

En la fase de Aguas Arriba del ACV se ha incluido la extracción y procesado de las materias primas necesarias para la fabricación de los encendedores, desde la cuna hasta la puerta de las fábricas de estos. Las fábricas están en distintos lugares de España, Francia y China.

Para esta fase se han utilizado datos primarios del peso de las 17 piezas, de distintos materiales, que componen cada uno de los 4 encendedores estudiados, que ha sido medido con balanzas de precisión en el laboratorio de calidad de la empresa.

Al no haber datos de los fabricantes de las materias primas (de los encendedores y del envase de recarga), se han utilizado procesos “allocation default - unit, market” (ahora APOS) de la base de datos Ecoinvent, que se han tratado con el software SimaPro, ambos en la versión más actualizada en el momento de hacer el ACV. Al tratarse de procesos “market” ya incorporan unos transportes estándar, por lo que pueden considerarse de la cuna a la puerta de las fábricas de los encendedores.

Durante su vida útil, los encendedores recargables requieren el empleo de un envase de recarga de gas y de piedras de encendido para recambio. Ambos elementos se han evaluado en el Ciclo de Vida del encendedor recargable, mediante los procesos de obtención de los 7 materiales de que se componen, cuyo peso fue determinado en el laboratorio de calidad de la empresa.

En el ACV no se ha considerado la fabricación del packaging, que es similar en todos los casos.

### **Proceso Principal.**

El proceso de fabricación de los encendedores es intensivo en el consumo de energía eléctrica; y también emplea gas natural y agua. Se ha dispuesto de datos primarios del consumo de estos elementos, para una fábrica en España. Para las restantes fábricas, situadas en Francia y China se han extrapolado los consumos en proporción al peso de cada encendedor. En el ACV se ha empleado el proceso de producción de electricidad de cada uno de los tres países.

### **Fase de uso y fin de vida.**

En los 4 encendedores estudiados, en la fase de uso se consume gas isobutano. De acuerdo con las hipótesis del ACV, las cantidades de gas empleadas en cada encendido son las mismas para los cuatro; se distinguen encendidos cortos, que duran 1,5 segundos; y largos, de 3 segundos (la duración de estos encendidos está definida en la norma UNE – EN 13869).

Dado que los cuatro modelos de encendedor usan la misma cantidad y el mismo tipo de gas, en cada encendido, se ha considerado que no aporta ningún valor diferencial y no se ha considerado en el ACV comparativo.

Todos los encendedores se exportan y se usan en todo el mundo. No se ha considerado la carga ambiental de los transportes de los encendedores a la distribución comercial.

Al final de su vida útil, la práctica indica que los encendedores se gestionan unidos a la basura general urbana o doméstica. Por ello, para los cuatro modelos, se ha supuesto que reciben un tratamiento municipal de residuos promedio, en que se incinera una parte de los mismos.

### **Calidad de los datos.**

La base de datos empleada en el estudio es Ecoinvent, en la versión más actualizada en el momento de hacerse el estudio.

La calidad de los datos primarios de la fabricación de los encendedores y del envase de recarga se ha evaluado con los criterios de evaluación semicuantitativa de la calidad de los datos, que propone la Unión Europea en su Guía de la Huella Ambiental de Productos y Organizaciones. Los criterios evaluados son: integridad; idoneidad y coherencia; representatividad temporal; representatividad tecnológica; representatividad geográfica; incertidumbre de los datos.

Los resultados obtenidos indican que el nivel de calidad de los datos utilizados es bueno.

### **Metodología de evaluación de impacto ambiental empleada.**

Para todas las evaluaciones de impacto ambiental se ha aplicado la metodología ILCD 2011 Midpoint+, propuesta por la Unión Europea para medir la Huella Ambiental, que evalúa las 16 categorías de impacto ambiental siguientes:

Tabla 1: categorías de impacto ambiental empleadas en la metodología ILCD 2011 Midpoint+,

Categoría de impacto	Unidad
Climate change	kg CO2 eq
Ozone depletion	kg CFC-11 eq
Human toxicity, non-cancer effects	CTUh
Human toxicity, cancer effects	CTUh
Particulate matter	kg PM2.5 eq
Ionizing radiation HH	kBq U235 eq
Ionizing radiation E (interim)	CTUe
Photochemical ozone formation	kg NMVOC eq
Acidification	molc H+ eq
Terrestrial eutrophication	molc N eq
Freshwater eutrophication	kg P eq
Marine eutrophication	kg N eq
Freshwater ecotoxicity	CTUe
Land use	kg C deficit
Water resource depletion	m3 water eq
Mineral, fossil & ren resource depletion	kg Sb eq

La metodología permite hacer la evaluación en 4 fases: caracterización, normalización, ponderación y puntuación única. Todas ellas han sido tenidas en cuenta en las evaluaciones.

#### Escenarios de comparación evaluados.

Los encendedores no recargables finalizan su vida útil cuando agotan la carga de gas.

Los encendedores recargables finalizan su vida útil cuando la moleta pierde efectividad y ya no permite la producción de chispa.

La definición de los escenarios de comparación ha tenido en cuenta las siguientes variables:

- El número de encendidos que permite una piedra; es un valor que puede variar entre 1.000 y 5.000, en función del modelo y la duración de los encendidos.
- El número de piedras que permite usar una moleta; es un valor que varía entre 3 y 5.
- El número de encendidos que permite un encendedor a plena carga, que es variable en función de si el encendido es largo (3 segundos) o corto (1,5 segundos), lo que conlleva un consumo de gas diferente.

Para todos estos rangos se han evaluado los valores extremos y un valor intermedio.

En definitiva, se han evaluado los impactos ambientales potenciales de:

- El Ciclo de Vida de los 4 encendedores individualmente, identificando las fases, materiales y procesos que contribuyen con una mayor carga ambiental.
- El Ciclo de Vida, de la cuna a la puerta, de un primer bloque de 8 escenarios “teóricos”:
  - 4 escenarios de comparación de encendedores recargables grandes, con el número equivalente de encendedores no recargables grandes;
  - 4 de encendedores pequeños recargables, con el número equivalente de encendedores no recargables.

En los 8 escenarios, la recarga de los encendedores recargables es completa, y no se produce ningún escape de gas.

- Un segundo bloque de 8 escenarios “realistas”, sugeridos por la práctica, similares a los anteriores, en que se evalúa:
  - 4 escenarios de comparación de encendedores recargables grandes, con el número equivalente de encendedores no recargables grandes. En este caso la recarga de los encendedores

recargables grandes no es completa (queda un poco de gas en el interior) y no se produce ningún escape de gas.

- 4 de encendedores pequeños recargables, con el número equivalente de encendedores no recargables. En este caso la recarga de los encendedores recargables pequeños es completa, pero en la recarga se produce una fuga de gas.

### **Análisis de sensibilidad.**

Con objeto de evaluar su posible influencia en el ciclo de vida de un encendedor, se hizo la evaluación de impactos del CV de un encendedor incluyendo:

- La extracción, producción y transporte de las materias primas que componen el encendedor, el gas que consume y el envase de recarga de gas.
- El proceso de fabricación, incluyendo los consumos de electricidad, agua y gas natural; así como las emisiones al aire y al agua y los residuos generados.
- El transporte del encendedor por carretera (transporte más desfavorable) a un lugar de distribución y venta lejano.
- La fase de uso, que implica hacer recargas de gas y el recambio de piedras de encendido.
- La gestión del encendedor al final de su vida útil, en un sistema de gestión de residuos municipal.

Los resultados del análisis de sensibilidad muestran que la inclusión en el ACV de las emisiones del proceso de fabricación, del transporte a distribución, del uso de gas y de la gestión en vertedero del encendedor al final de su vida útil influyen muy poco en los impactos totales, validando las conclusiones del ACV comparativo realizado.

### **RESULTADOS OBTENIDOS.**

#### **Impactos ambientales del Ciclo de Vida de los encendedores individualmente.**

En primer lugar, se evaluaron los impactos ambientales potenciales del ciclo de vida de los cuatro encendedores, desde la cuna a la puerta de la fábrica de estos.

En los 4 encendedores evaluados los resultados son similares:

- En las fases de normalización, ponderación y puntuación única se observa que la categoría de impacto ambiental importante es la “disminución de recursos minerales, fósiles y renovables”. Los procesos que más influyen en ella son los que emplean recursos naturales como materias primas; y en particular, la piedra, los empujadores, el quemador y la válvula.
- La segunda categoría de impacto ambiental en importancia, a gran distancia de la primera, es la de “efectos no cancerígenos sobre toxicidad humana”.
- El resto de las categorías de impacto ambiental son poco significativas.

En definitiva, desde el punto de vista del ecodiseño lo más importante es minimizar el consumo de materias primas; y en particular, de aquellas piezas que consumen los materiales más escasos. También puede plantearse la sustitución de algunos materiales por otros menos escasos e introducir, cuando sea posible, material reciclado.

A continuación, se muestran unas gráficas como ejemplo de los resultados obtenidos.

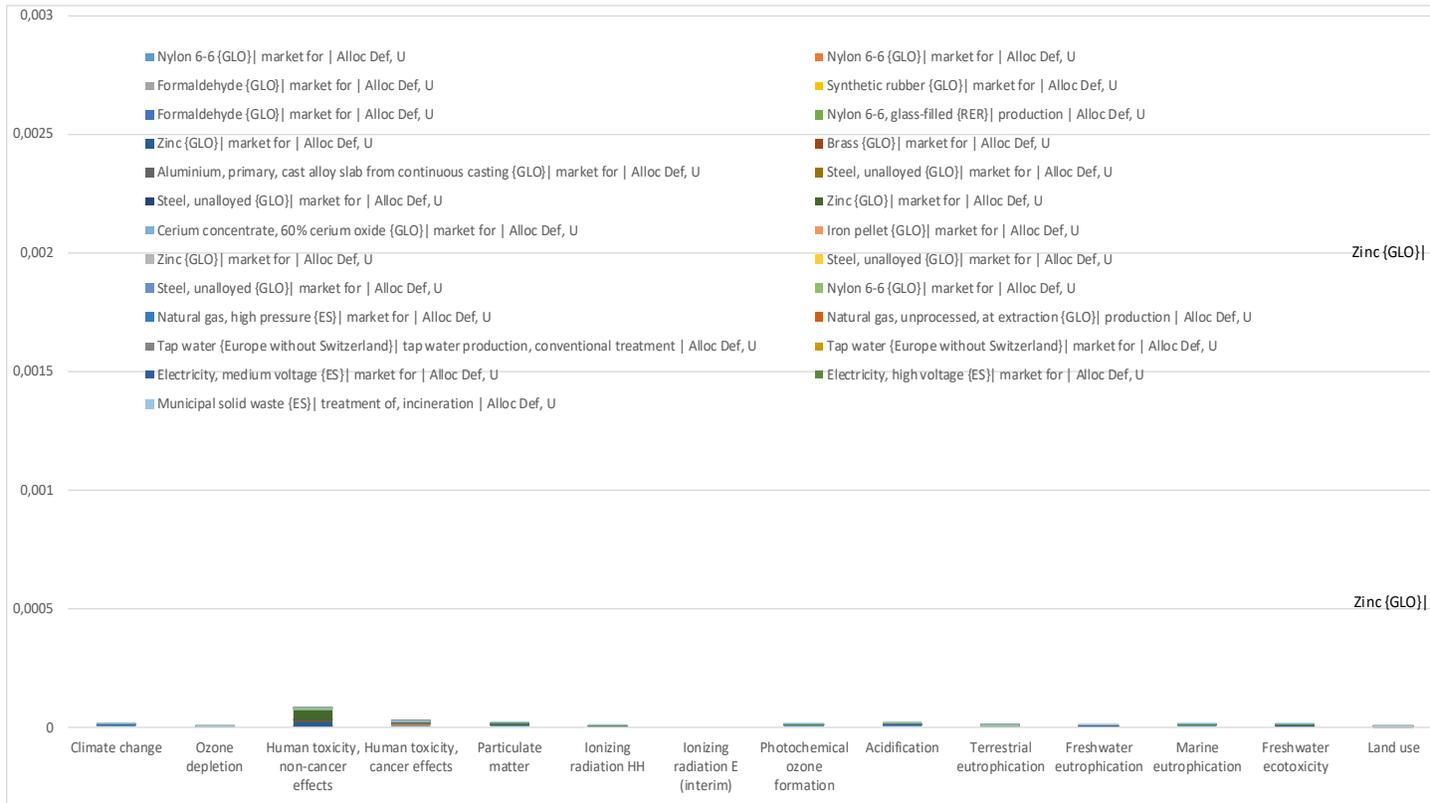
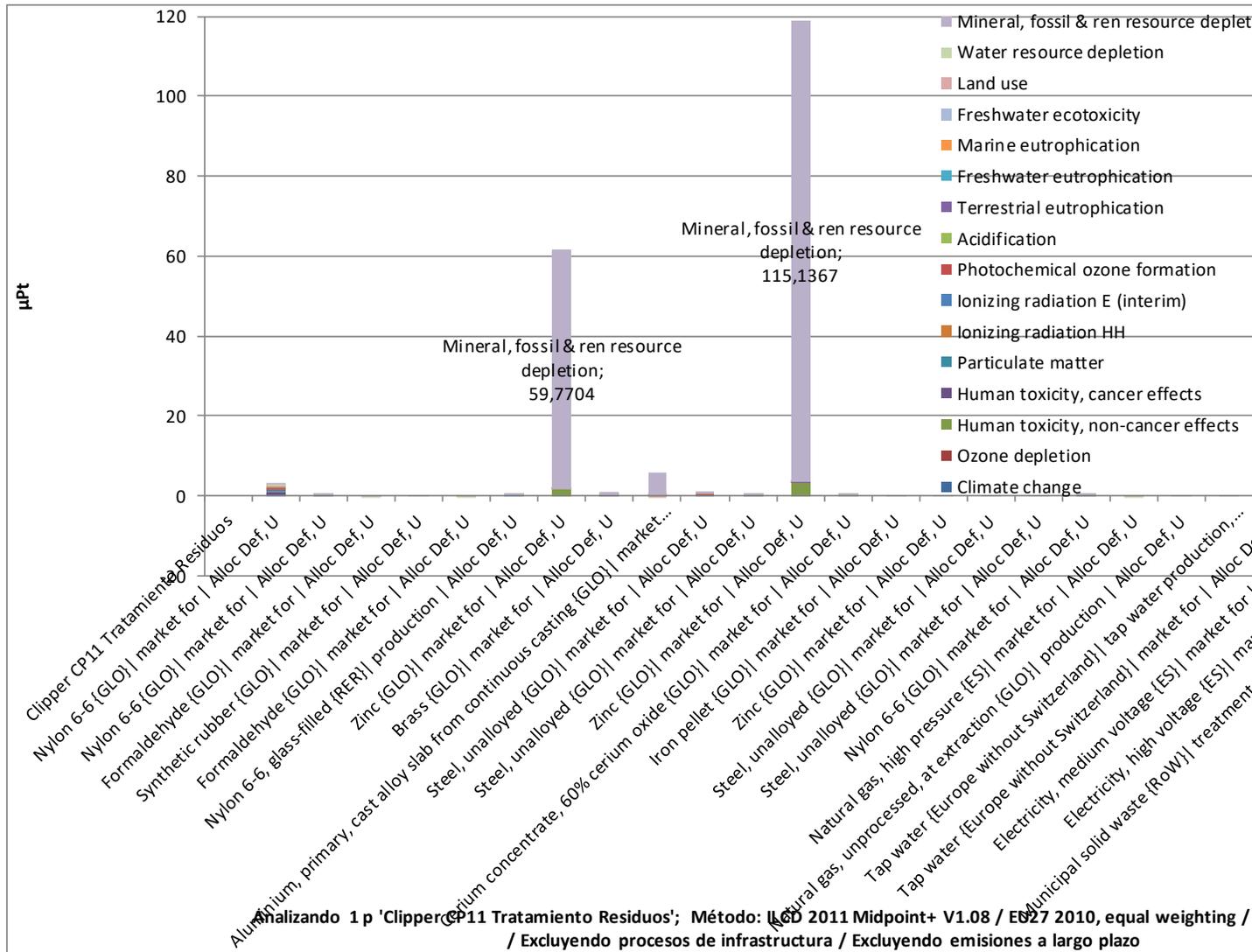


Figura 1. Resultados de la evaluación de impactos del ciclo de vida, de la cuna a la puerta, de un encendedor en la fase



## **Resultados de la Evaluación de Impactos Ambientales del Análisis de Ciclo de Vida comparativo de los encendedores equivalentes.**

En segundo lugar, se hizo una comparación de los impactos ambientales potenciales producidos en el ciclo de vida, de la cuna a la puerta, para los 16 escenarios anteriormente descritos: 8 de encendedores grandes y 8 de encendedores pequeños. Con ellos se abarcan todas las opciones de eficiencia de la piedra (nº de piedras por moleta), número de encendidos por piedra, duraciones del encendido (corto y largo) y porcentaje de envase de recarga de gas.

En todos los escenarios:

- Los resultados del impacto ambiental total, de la fase de puntuación única, de los encendedores recargables (grandes y pequeños) es siempre menos de la mitad que la del número equivalente de encendedores no recargables (grandes y pequeños).
- La puntuación única de la categoría de “disminución de recursos naturales, fósiles y renovables” (que es la más importante de las 16 estudiadas, según la fase de normalización) de los encendedores recargables (grandes y pequeños) es siempre menos de la mitad que la del número equivalente de encendedores no recargables (grandes y pequeños).

Estos resultados ponen de manifiesto la importancia de minimizar el consumo de materias primas, porque en muchas piezas los encendedores recargables emplean menos material que los encendedores no recargables.

a) Ejemplo de resultados de los escenarios “teóricos”.

Escenario de comparación de: un encendedor recargable más 4 piedras de encendido y el porcentaje de envase de gas para recarga, correspondiente a la cantidad de gas empleado en su vida útil; frente al número de unidades de encendedor no recargable equivalente, que produce el mismo nº de encendidos que el recargable en su vida útil.

Los 8 escenarios teóricos modelizados, de comparación de encendedores recargables (con los elementos complementarios necesarios) y no recargables muestran similares resultados y conducen a las mismas conclusiones:

- En la fase de normalización, la categoría de impacto ambiental que destaca apreciablemente sobre todas las demás (hasta el punto de hacerlas prácticamente no significativas), es la “disminución de recursos minerales, fósiles y renovables”, en la que el encendedor no recargable más que duplica el impacto ambiental del recargable.
- En la fase de puntuación única, donde todo se compendia en un único valor, el encendedor no recargable más que duplica el impacto ambiental del recargable.

A continuación, se muestra un ejemplo de los resultados obtenidos.

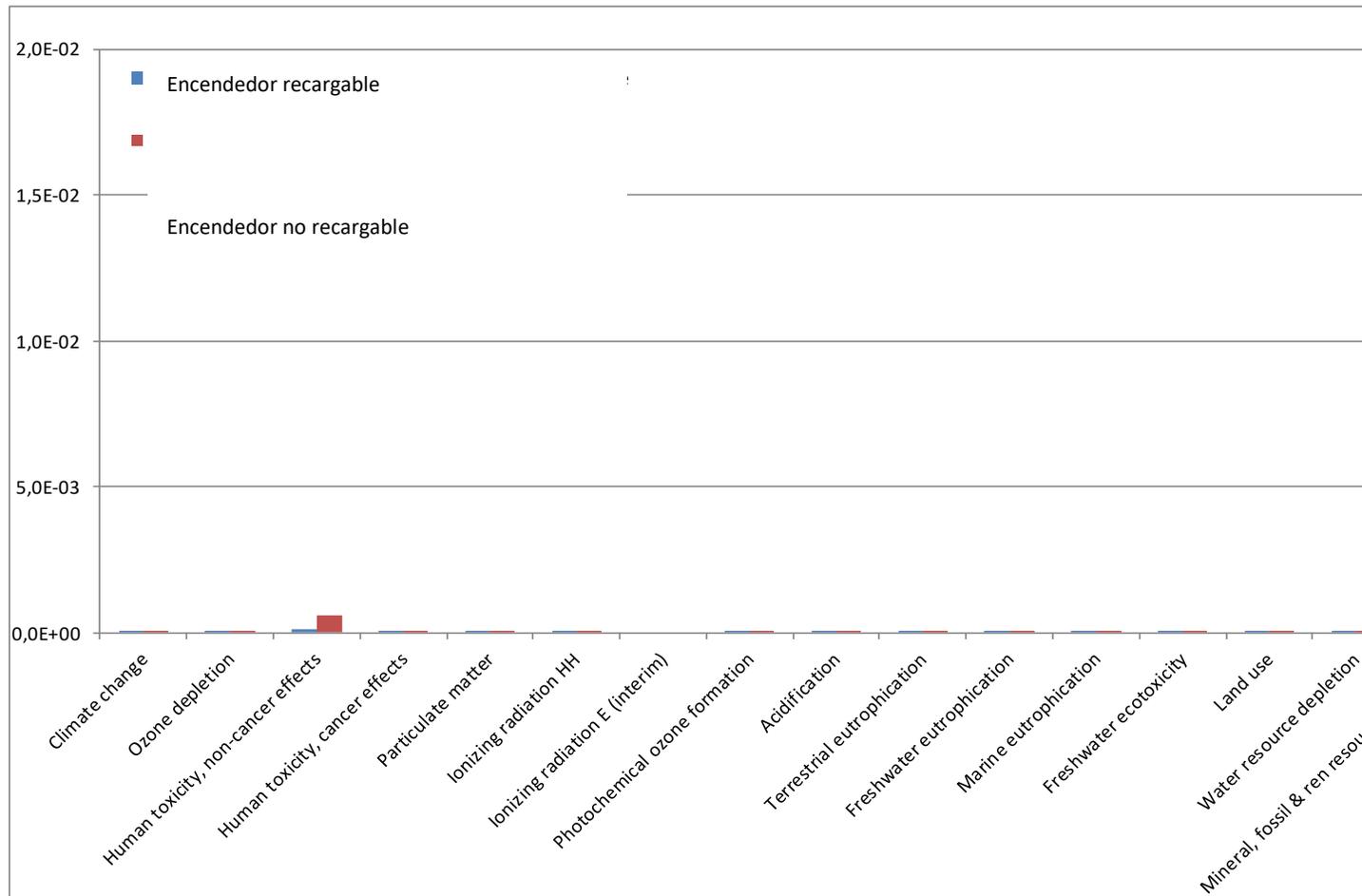


Figura 3. Resultados de la evaluación de impactos del ciclo de vida comparativo, de la cuna a la puerta, en un escenario de normalización, de un encendedor recargable con 4 piedras y un % de envase de recarga de gas, frente al nº de encendedores no recargables.

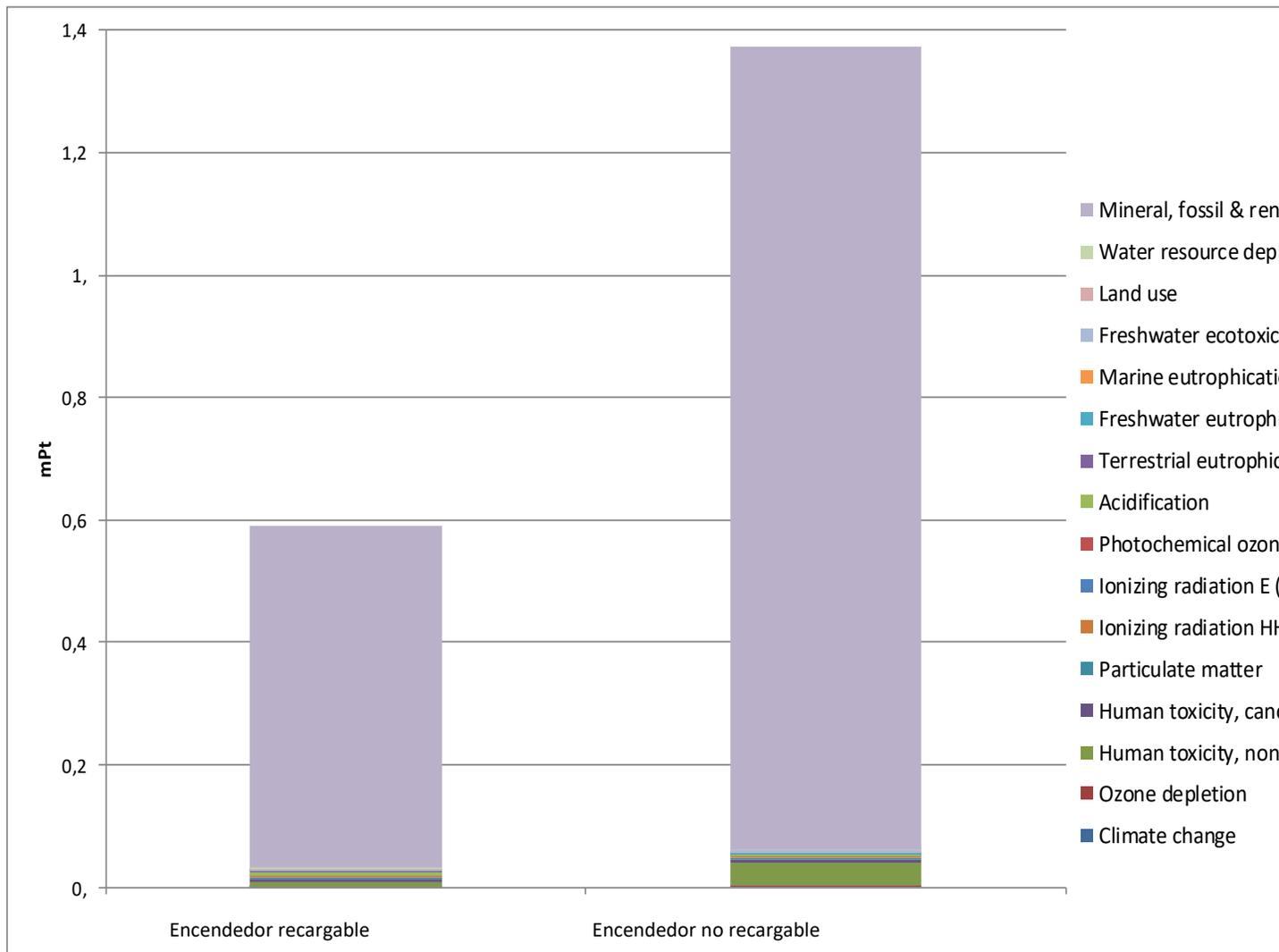


Figura 4. Resultados de la evaluación de impactos del ciclo de vida comparativo, de la cuna a la puerta, en un escenario de fase de puntuación única, de un encendedor recargable con 4 piedras y un % de envase de recarga de gas, frente al número de encendedores no recargables.

A. Ejemplo de resultados de los escenarios “realistas”.

En la fase de normalización se pone de manifiesto que las categorías de impacto ambiental más importantes son siempre mucho más favorables para los encendedores recargables que para los no recargables.

En la fase de puntuación única, el resultado siempre es mucho más favorable para los encendedores recargables que para los no recargables.

La categoría de impacto ambiental más importante es siempre la disminución de recursos minerales, fósiles y renovables. Y respecto a ella, el uso de encendedores recargables es mucho más favorable que el de no recargables.

B. Ejemplo de resultados de los escenarios “realistas”.

Anteriormente se han descrito los escenarios “realistas”.

A continuación, se muestran los resultados obtenidos en una de las comparaciones realizadas entre un encendedor pequeño recargable, con el número equivalente de encendedores pequeños no recargables. En este caso la recarga del encendedor recargable pequeños es completa, pero en la recarga se produce una fuga de gas.

Los resultados muestran siempre la misma pauta:

- La categoría de impacto ambiental más importante es siempre la disminución de recursos minerales, fósiles y renovables. Y respecto a ella, el uso de encendedores recargables es mucho más favorable que el de no recargables.
- En la fase de normalización se pone de manifiesto que las categorías de impacto ambiental más importantes son siempre mucho más favorables para el encendedor recargable que para el no recargable.
- En la fase de puntuación única, el resultado siempre es mucho más favorable para el encendedor recargable que para el no recargable.

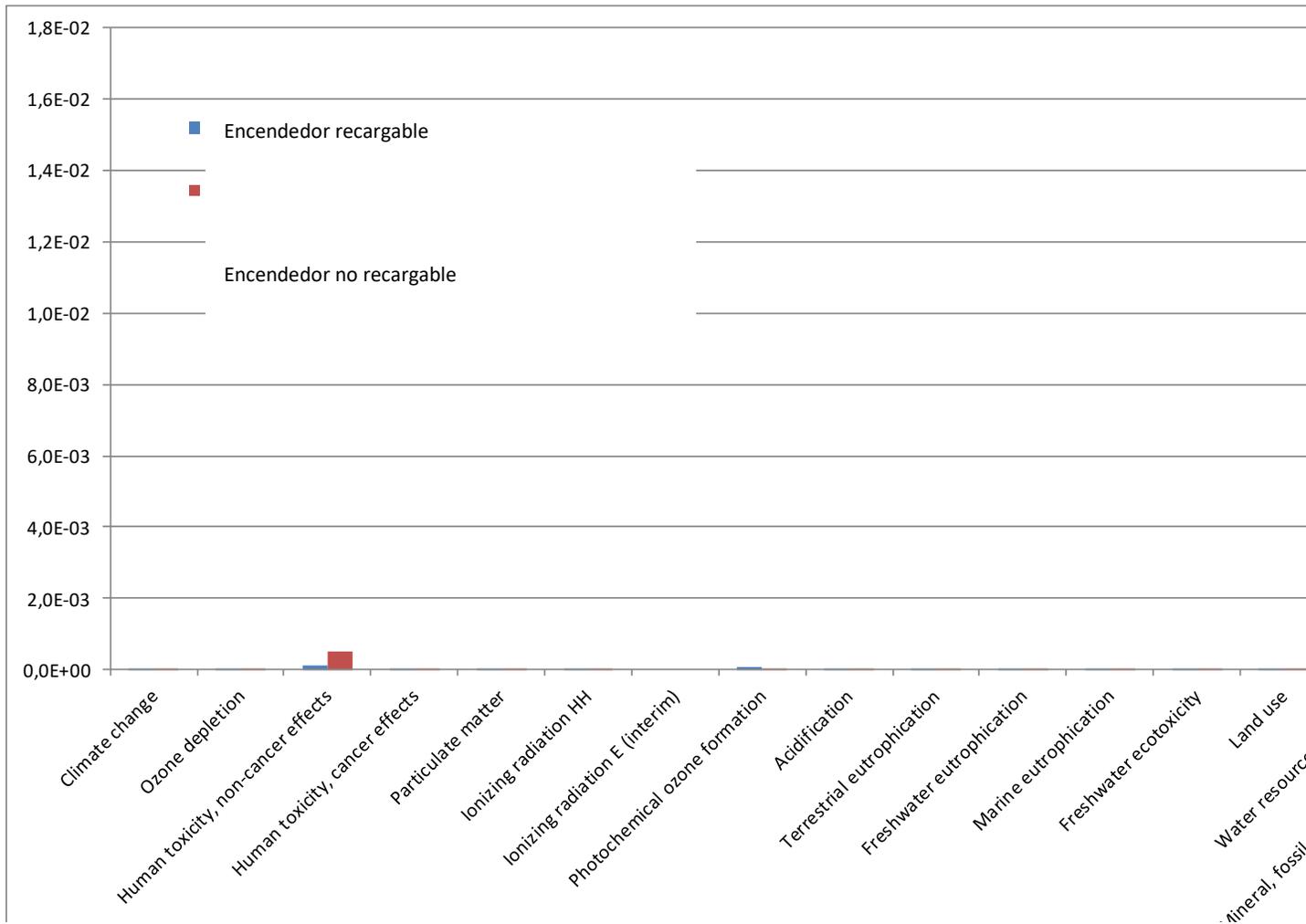


Figura 5. Resultados de la evaluación de impactos del ciclo de vida comparativo, de la cuna a la puerta, en un escenario fase de normalización, de un encendedor recargable con 4 piedras y un % de envase de recarga de gas, frente al nº equivalente de encendedores no recargables.

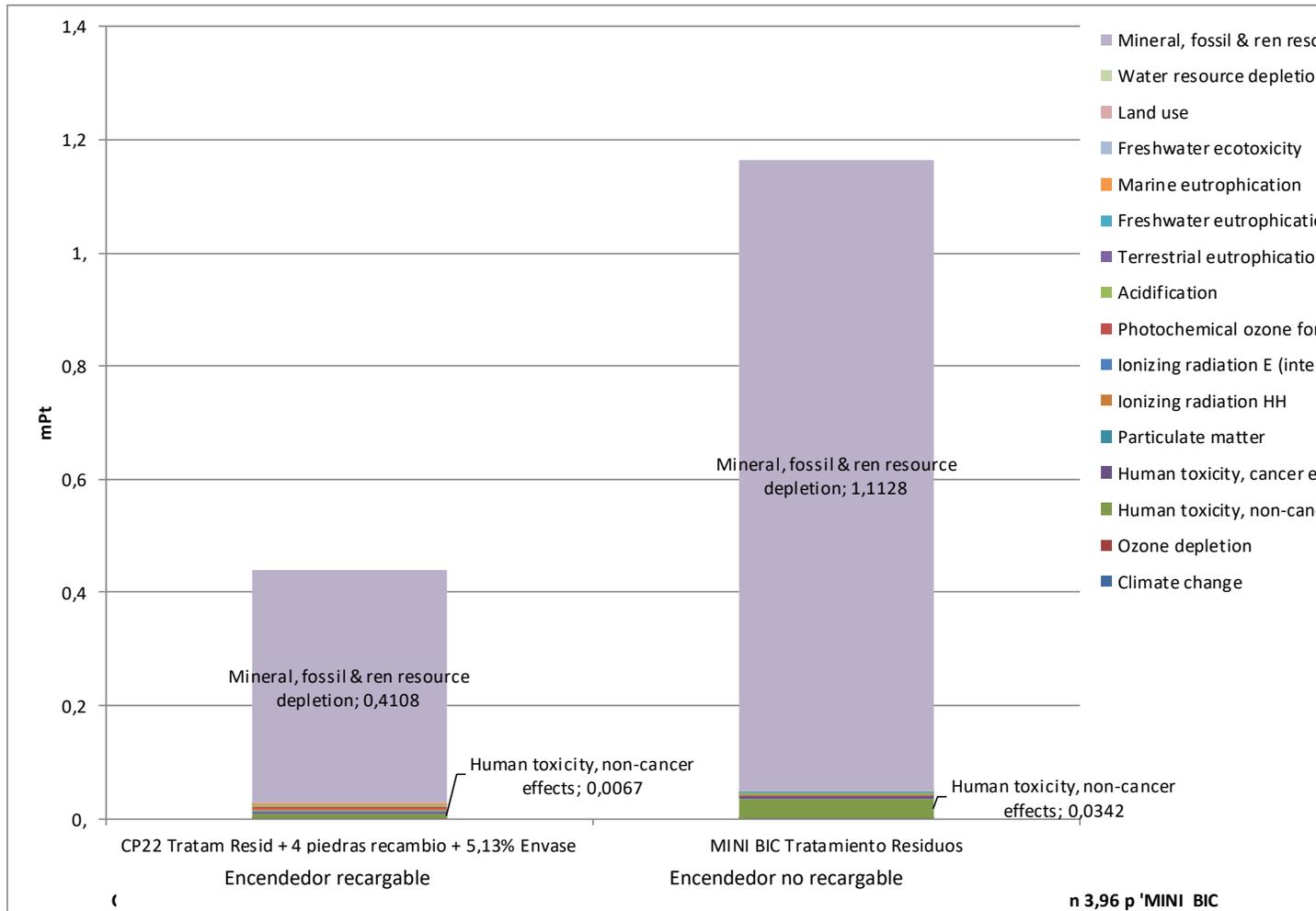


Figura 6. Resultados de la evaluación de impactos del ciclo de vida comparativo, de la cuna a la puerta, en un escenario fase de puntuación única, de un encendedor recargable con 4 piedras de encendido de recambio y un % de envase de recambio frente al n° equivalente de encendedores no recargables.

Los datos muestran que, en un escenario “realista”:

- La puntuación única del impacto ambiental total de los encendedores recargables es menos de la mitad, y a veces menos de una tercera parte, que la del número equivalente de encendedores no recargables.
- Los resultados son más favorables para los encendedores recargables: cuanto más eficiente es la moleta y más piedras permite usar; y cuanto más largos son los encendidos. Ambas circunstancias hacen que aumente el número de encendedores no recargables que forman parte del escenario modelizado.

Por tanto, se llega a la conclusión de que los escenarios de uso “realista” no modifican las conclusiones anteriormente obtenidas para los escenarios “teóricos”. Y como en ellos, puede afirmarse que es preferible el uso de encendedores recargables, frente a los no recargables.

### **VERIFICACIÓN DEL ACV POR TERCERA PARTE INDEPENDIENTE.**

Para el estudio en cuestión, AENOR INTERNACIONAL fue requerida para llevar a cabo una revisión crítica del informe correspondiente a un estudio comparativo de los impactos ambientales en el ciclo de vida entre encendedores recargables y no recargable: correspondiente al periodo septiembre 2015 – septiembre 2016.

Dicha revisión crítica independiente se realizó de conformidad con las normas UNE EN ISO 14040 y 14044. La revisión crítica tuvo como objeto asegurar que:

- Los métodos empleados de Análisis de Ciclo de Vida (ACV) son coherentes a las normas indicadas.
- Los métodos empleados de ACV son válidos técnica y científicamente.
- Los datos son apropiados y razonables en relación con el objeto del estudio.
- Las interpretaciones reflejan las limitaciones identificadas y el objetivo del estudio.
- El informe del estudio es transparente y coherente.

En ningún momento la revisión se consideró como una revisión por partes interesadas. Y no estuvo prevista la divulgación al público del Estudio comparativo.

El alcance de la revisión se estableció para el análisis de ciclo de vida (ACV) elaborado en el que se basó el Estudio comparativo del impacto ambiental entre encendedores recargables y no recargables.

El ACV realizado para este producto fue del tipo “de la cuna a la tumba”, que incluyó todo el proceso de aprovisionamiento de materias primas, fabricación del producto, transporte a distribución, uso del producto y disposición final.

Durante el proceso de verificación de la declaración y de la información del Proyecto, se evaluó:

- La conformidad con las normas de referencia:
  - UNE-EN ISO 14040:2006 Análisis del ciclo de vida. Principio y marco de referencia.
  - UNE-EN ISO 14044:2006 Análisis del ciclo de vida. Requisitos y directrices.
- El ACV que soporta la declaración y que debe referirse en la misma. La veracidad, exactitud y calidad de sus datos.
- La metodología de adquisición y tratamiento de todos los datos que concluyen en la declaración. La cobertura, precisión, integridad, representatividad, coherencia, reproducibilidad, las fuentes y la incertidumbre de los datos. La calidad y exactitud de la información ambiental adicional. Trazabilidad a los datos primarios.

La verificación se realizó in situ en las localizaciones donde se disponía de la información o se realizaban los procesos a verificar.

El Proceso de revisión crítica y declaración correspondiente consistió en las siguientes fases:

#### 1.- Análisis estratégico

El objetivo del análisis estratégico fue obtener un conocimiento detallado de las actividades desarrolladas por la organización y en particular las instalaciones cuya información ambiental contribuye al Estudio presentado.

Se realizó un análisis desde las siguientes tres perspectivas:

- La naturaleza, escala y complejidad de los equipos y procesos que originaron los datos incluidos en la declaración, incluida la medición y el registro de flujos de energía y materiales y factores externos en todo el rango de condiciones que se hayan dado durante los periodos que se notifican;
- El sistema de gestión de datos para medir y registrar los flujos de datos considerados con la agregación y el archivo de datos;
- El marco organizativo, incluida la estructura de la organización que gestionó los sistemas operativos, de mantenimiento y de recuento de datos de los que se obtiene la información.

#### 2.- Análisis de riesgos

El objeto de este análisis fue detectar dónde se encontraban el riesgo de que se produjeran discrepancias o errores, tanto en el proceso productivo como en el tratamiento de los datos, y evaluar en qué medida influiría en el dato final de los indicadores.

El verificador evaluó los riesgos inherentes y los riesgos de control que podrían derivar en desviaciones importantes. Un análisis previo de los procesos y emisiones existentes dieron como resultado el muestreo inicialmente establecido, que se confirmó y/o fue revisado durante el proceso de verificación.

#### 3.- Análisis de procesos

Aplicando el plan de muestreo definido, el verificador confirmó si la información presentada era exacta, coherente, transparente y sin discrepancias notables.

En particular, el proceso incluyó de forma concreta las siguientes fases y actividades:

- Revisión del informe de ACV comparativo y de las normas de referencia usadas, comprobando que la información incluida se adapta a las etapas e instalaciones contempladas.
- Análisis conforme a las exigencias de la norma ISO 14040 e ISO 14044, la metodología establecida por la organización para los impactos ambientales de cada categoría.
- Visita de auditoría in situ centrándose en las siguientes áreas:
  - o datos primarios y secundarios y flujos de información para determinar los impactos
  - o revisión de metodología y cálculo en SimaPro
- Análisis de la implantación de la metodología establecida por la organización para el cálculo de ACV. Asimismo, se evaluó el cumplimiento del informe de ACV por la organización conforme al referencial de aplicación (ISO 14040 y 14044).

Por último, se procedió a verificar datos incluidos en el estudio. Para ello se procedió de la siguiente manera:

- Ejecución del plan de muestreo. De esta manera AENOR pudo obtener conclusiones sobre las fuentes de errores, omisiones o malas interpretaciones potenciales en que la organización hubiera podido incurrir.
- Evaluación de los datos y la información que se disponía en relación a los mismos, basado en el plan de muestreo definido, que pudo ser modificado si los riesgos identificados así lo requirieron. Para ello, se revisaron muestralmente los datos primarios (facturas, registros de compras, etc.) necesarios.
- Contraste de la información disponible frente a los criterios de verificación. A fin de poder obtener conclusiones sobre si la información presentada es exacta, coherente, transparente y sin discrepancias notables.

Como conclusión de todo el proceso se elaboró un informe de verificación que contuvo las desviaciones frente a los requisitos establecidos, así como las observaciones y oportunidades de mejora que el equipo verificador pudo identificar, conforme a las normas ISO 14040 y 14044. Tras su corrección se pudo otorgar el certificado de cumplimiento correspondiente.

## **CONCLUSIONES.**

### **Discusión de resultados**

El Análisis del Ciclo de Vida completo de un encendedor, tanto recargable como no recargable, muestra que:

- La categoría de impacto ambiental importante es la “disminución de recursos minerales, fósiles y renovables”. Y los procesos y materiales que más influyen en ella son los que emplean zinc (principalmente) y aluminio, como materia prima.
- La segunda categoría de impacto ambiental en importancia, a gran distancia de la primera, es la de “efectos no cancerígenos sobre toxicidad humana”.
- El resto de las categorías de impacto ambiental son poco significativas.

Los resultados del Análisis del Ciclo de Vida comparativo de encendedores recargables (con todos los elementos de recambio necesarios) con los encendedores no recargables, tanto en escenarios “teóricos” como “realistas”, indican que:

- Es preferible fabricar encendedores recargables que no recargables; y es clave economizar en el consumo de materias primas.
- Los resultados son más favorables para los encendedores recargables: cuanto más eficiente es la moleta y más piedras permite usar; y cuanto más largos son los encendidos. Ambas circunstancias hacen que aumente el número de encendedores no recargables equivalentes y con ello el empleo de materias primas, que es lo que más contribuye a la categoría de impacto ambiental más importante.

En resumen, los datos apuntan a que, en general, cuanto menor es la repercusión del peso de los materiales que componen el encendedor por gramo de gas consumido, menor impacto ambiental se ocasiona y, por tanto, más favorable es el uso de encendedores recargables frente a los encendedores no recargables.

### **Conclusiones y recomendaciones**

Se debe trabajar el diseño de encendedores recargables que empleen las materias primas indispensables, con piedras y moletas eficientes que maximicen el número de encendidos. Es

importante facilitar al consumidor los medios y las instrucciones necesarios para un uso eficaz de las recargas de gas.

#### **REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.**

1. Normas: ISO 14040, ISO 14044, ISO/TS 14067:2013, ISO 14025:2010.
2. *RECOMENDACIÓN DE LA COMISIÓN, de 9 de abril de 2013, sobre el uso de métodos comunes para medir y comunicar el comportamiento ambiental de los productos y las organizaciones a lo largo de su ciclo de vida* (Publicada en DOCE el 4/05/2013).
3. Manual ILCD (sistema internacional de datos de referencia sobre el ciclo de vida). 2011.

### **2.2.3 Aplicación de estrategias de ecodiseño, para la detección de necesidades y campos de acción, en el diseño de nuevos productos.**

#### **Autor Principal:**

L.D.I Ariadna Vázquez Cabrera. Maestrante en diseño y desarrollo de productos (MDDP)

#### **Autor 2:**

David Cortes Sáenz. Dr. En proyectos de innovación tecnológica. UPC. Barcelona Tech. España.

#### **Autor 3:**

L.D.I Luiz Antonio Pereira Machado Junior. Maestrante en diseño y desarrollo de productos (MDDP)

Dirección: Av. Plutarco Elías Calles 1210, Alfa, 32310 Cd Juárez, Chihuahua. México. (+52) 656 2169470

Email: arydesign.06@gmail.com

### **RESUMEN**

El presente trabajo, realiza un compendio de técnicas encontradas en revisión de literatura, de estrategias y metodologías de ecodiseño, viendo el ecodiseño como: "... la integración de los aspectos medioambientales en el diseño y desarrollo de productos..." (ISO, 2002) estos métodos brindan a los diseñadores de productos desde un punto de vista actual, como se involucran y dan posibilidades en la etapa inicial de los proyectos de diseño, como catalizadores de necesidades y detección de problemáticas, partiendo del análisis de productos ya existentes, con la incorporación de un caso de estudio aplicado en la zona de Ciudad Juárez, México, en un pupitre escolar estándar, utilizando un método de diseño, dando como resultado la detección de áreas de oportunidades reales y directamente ligadas al diseño y mejoras medioambientales en los productos a diseñar.

**PALABRAS CLAVES:** estrategias de ecodiseño, diseño, detección de necesidades, productos.

### **INTRODUCCION**

Ecodiseño como concepto de marketing.

Desde un punto de vista crítico, el ecodiseño ha sido una transformación casi inevitable e impulsada por el mercado, que da respuesta al aumento de la conciencia del consumidor al deterioro del ecosistema, dando paso a un consumo mayor de productos responsables y con esto la aparición del consumidor verde o consumidor consiente. Según Soonthonsami, 2007, citado en (Castañeda, 2014) define el *marketing* verde como aquellas actividades realizadas por las empresas que tienen preocupaciones por el medio ambiente o problemas verdes y que buscan entregar bienes y servicios para satisfacer a los consumidores y a la sociedad.

Al surgir estos cambios de conciencia, también influye en las prioridades de los productores ya que los consumidores ven esto como un valor agregado o imprescindible en sus decisiones, sobre esto plantean (Cristina & Moreno, n.d.) que, muchas veces dicha valoración se manifestará en pagar un mayor precio por productos percibidos como ecológicos; en otros momentos se manifestará en el rechazo de aquellos productos más contaminantes; mientras que por otra parte se refleja en preferir el producto ecológico en igualdad de condiciones funcionales. De este modo la forma de ver el mercado y sus productos abre un camino casi inagotable de posibilidades para un diseñador que tiene en deber de cambiar su forma de percibir el mundo y los objetos que lo rodean, para satisfacer necesidades que surjan de los consumidores.

### **Contaminación como catalizador de una corriente naciente.**

Existe una situación imposible de ignorar con respecto al medio ambiente, en México específicamente es de vital importancia, dado el gran deterioro ecológico que caracteriza al país, está incluido dentro del conjunto de las 15 áreas denominadas hot spots o bajo amenaza crítica. Se han perdido más de 95% de sus bosques tropicales húmedos y más de la mitad de sus bosques templados y de la vegetación de zonas áridas. El 78% del territorio del país se encuentra sujeto a diversos grados de erosión y muchas especies de flora y fauna están en peligro de extinción (Luna Plascencia, Castañon Barrientos, & Raz-Guzmán, 2011)

Todo esto crea un nuevo pensar, un nuevo mercado, más consiente y con nuevos valores que brinden al planeta y a la vida cotidiana un diseño más limpio y en consonancia con las exigencias, según (Manuel, Ponte, Leticia, & Smith, 2004) uno de los principales factores para explicar el origen y el crecimiento de los movimientos ambientalistas es un cambio generalizado en los valores de grupos sociales e individuos, que resulta en el cambio de actitudes o conductas. Ligadas directamente a las condiciones ambientales.

### **Ecodiseño y productos.**

Las razones por las cuales una empresa o un diseñador son encaminados a pensar en estrategias de ecodiseño y en su implementación, sobre todo en el factor ambiente ayuda a definir la dirección de las decisiones que se toman en el diseño, (Cristina & Moreno, n.d.).

De acuerdo a lo referido por (ISO, 2003), se define el ecodiseño como: "... la integración de los aspectos medioambientales en el diseño y desarrollo de productos (ISO, 2002). El objetivo es aumentar el desempeño ambiental, para lograrlo se propone el siguiente modelo en la norma ISO 14062: (1) Planificación; (2) Diseño conceptual; (3) Diseño detallado; (4) Ensayo/prototipo; (5) Producción/lanzamiento al mercado; (6) Revisión del producto (Goepf et al., 2014). A este respecto, la Unión Europea (UE) está trabajando para alcanzar los objetivos de eficiencia energética previstos para 2020. Debido a las demandas del mercado mundial de productos más eficientes desde el punto

de vista medioambiental, la UE, a través de su legislación en materia de diseño ecológico, pretende eliminar del mercado los productos menos eficientes.

## METODOLOGÍA

El método general utilizado para la aplicación de las técnicas de ecodiseño es, «Llave del Diseño» (López, 2011) y está organizada en etapas o fases de trabajo que persiguen unos objetivos específicos, con base en el ecodiseño y la ergonomía como ejes rectores y que abarcan todo el ciclo de vida del producto. Las etapas de la metodología propuesta son presentadas en la figura 1.

Cada una de estas etapas comprende técnicas ergonómicas, como del ecodiseño, para el procesamiento y recolección de información, estas técnicas son sugeridas, según la complejidad de cada una de estas etapas, muchas de estas pueden ser utilizadas en varias de las fases, las que han sido seleccionada, son las más eficaces para nuestro estudio.

Estas etapas abordara la problemática como global, para lograr un producto coherente que permita realizar un pupitre para escuelas primarias, específicamente para niños de pre-escolar, y así con características ergonómicas específicas de este usuario.

1. Definición estratégica
2. Diseño del concepto
3. Diseño de detalle
4. Ensayo y verificación
5. Producción
6. Lanzamiento y verificación
7. Fin de Ciclo de Vida

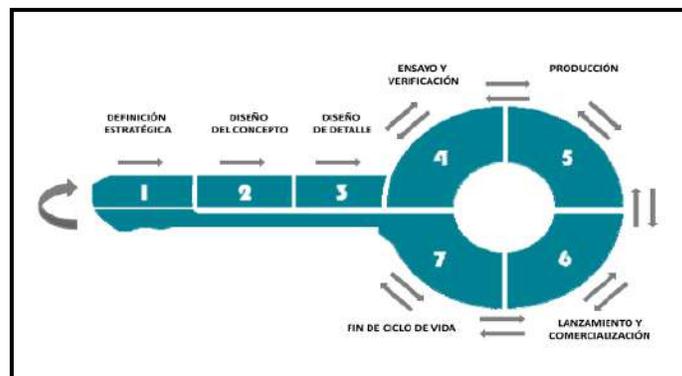


Figura 1. Método de diseño utilizado, Llave del diseño.

### ***Etapa uno: Definición estratégica***

*En esta fase inicial se definen motivos para el nuevo diseño:*

**Tabla 1. Factores motivantes externos e internos, Llave del diseño.**

Los «Factores Motivantes Exógenos» o externos a la empresa serían:	En cuanto a los «Factores Motivantes Endógenos», debe tener que considerarse:
- Legislación	-Calidad.
-Mercado	-Mejora de la imagen del producto y de la empresa

- Competidores	- Costes.
- Entorno social	-Innovación.
- Organizaciones Sectoriales	- Responsabilidad Social Empresarial (RSE)

Una vez establecidos estos Factores Motivantes habrá que realizar una investigación exhaustiva sobre el producto a desarrollar. Para ello deberían llevarse a cabo las siguientes acciones:

-Conocer las opiniones de los usuarios sobre las necesidades reales del producto y los puntos débiles de los diseños existentes.

-Realizar una revisión bibliográfica sobre temas vinculados con la Ergonomía, la seguridad, el medio ambiente, normativa vinculada con el proyecto, patentes asociadas...

-Acotar los límites del sistema producto. Se trata de incluir todos los elementos externos relacionados con el producto y que se verían modificados si se modificara el diseño.

-Analizar los aspectos ambientales y ergonómicos del producto y establecer las prioridades de acción.

-Valorar las distintas ideas de mejora en función de la viabilidad técnica, la viabilidad financiera, los beneficios esperados y la respuesta positiva o negativa a los factores motivantes. Se priorizarán las ideas en función de su valoración.

Las tablas que se muestran continuación, muestran las técnicas que se deben utilizar en cada una de las fases del método.

**Tabla 2. Técnicas recomendadas por el método en la fase 1, Llave del diseño.**

<b>ETAPA 1</b>	<b>Técnicas ergonómicas</b>	<b>Técnicas de ecodiseño</b>
<b>Definición estratégica</b>		
	Entrevistas	Listas de comprobación
	Cuestionarios	Rueda estratégica de ecodiseño
	Fuentes de información	Matriz MET
		Evaluación de cambio de diseño

		Ecoindicadores
		Análisis de ciclo de vida
		Fuentes de información: normativas, estudios de materiales

***Etapa dos: diseño del concepto.***

Se realiza un diseño preliminar donde estén definidos de manera provisional la composición, la forma y el material del producto. Se pueden establecer distintos modos de valoración. Una de las posibilidades sería agrupar los distintos requisitos de la multinacional Energía de Portugal (EDP) en criterios ergonómicos, medioambientales y convencionales.

Una vez agrupados, valorar cada uno de estos requisitos con una puntuación del 1 al 10. Si alguno de ellos se considera más importante que el resto, se le puede asignar un peso mayor. A continuación, se sumarían todas las valoraciones teniendo en cuenta las ponderaciones de los pesos (si las hubiera) y se seleccionará el modelo con la puntuación más alta.

**Tabla 3. Técnicas recomendadas por el método en la fase 2, Llave del diseño**

<b><i>ETAPA 2</i></b>	<b><i>Técnicas ergonómicas</i></b>	<b><i>Técnicas de ecodiseño</i></b>	<b><i>Técnicas de creatividad</i></b>
<b><i>Diseño del concepto</i></b>			
	Entrevistas	Matriz MET	Lluvia de ideas
	Proyección de expectativas	Evaluación de cambio de diseño	Moodboard
	Registros electrofisiológicas: registro facial de emociones	Ecoindicadores	Mapas mentales
		Análisis de ciclo de vida	Check list, evaluación y selección

CRITERIOS DE VALORACIÓN: REQUISITOS DEL PLIEGO DE CONDICIONES	CONCEPTOS								
	CONCEPTO A			CONCEPTO B			CONCEPTO C		
	VALOR	PESO	TOTAL	VALOR	PESO	TOTAL	VALOR	PESO	TOTAL
<b>CRITERIOS ERGONÓMICOS</b>									
Criterio 1									
Criterio ...									
<b>CRITERIOS MEDIOAMBIENTALES</b>									
Criterio 1									
Criterio ...									
<b>CRITERIOS CONVENCIONALES</b>									
Criterio 1									
Criterio ...									
<b>VALORACIÓN TOTAL</b>									

Figura 2. Ejemplo de una matriz para priorizar los conceptos en la fase 2, Llave del diseño.

**Etapa tres: diseño de detalle.**

Después de la generación de conceptos de la fase anterior, en esta etapa se desarrolla la alternativa elegida. Es cuando se determinan las especificaciones técnicas concretas sobre las que construir el producto: materiales, dimensiones, técnicas de producción, aspectos perceptivos, etc.

Tabla 4. Técnicas recomendadas por el método en la fase 3, Llave del diseño

<b>ETAPA 3</b>	<b>Técnicas ergonómicas</b>	<b>Técnicas de ecodiseño</b>
<b>Diseño de detalle</b>		
	Antropometría y biomecánica	Ecoindicadores
	Software de simulación Humana	Análisis de ciclo de vida
	CAD 3D paramétrico	

**Etapa cuatro: ensayo y verificación.**

En la fase de ensayo y verificación hay que comprobar si las estrategias y definiciones planteadas de forma inicial se han trasladado de forma correcta al producto. Es la etapa en la que se construyen los prototipos; por lo tanto, es el periodo en el que la ergonomía participativa toma las

riendas a través de las experiencias con los usuarios finales, con el único fin de perfeccionar el ajuste «usuario-producto-contexto».

**Tabla 5. Técnicas recomendadas por el método en la fase 4, Llave del diseño**

<b>ETAPA 4</b>	<b>Técnicas ergonómicas</b>	<b>Técnicas de ecodiseño</b>
<b>Ensayo y verificación</b>		
	Entrevistas	Fuentes de información: normativas, estudios de materiales
	Cuestionarios	
	Fuentes de información	
	Observación	
	Mediciones de ambiente físico	
	Pruebas de usabilidad	

#### **Etapa cinco: producción**

Implica la puesta en marcha del sistema productivo definiendo dónde, cómo y con qué medios se va a fabricar el producto, describiendo toda la sucesión de actividades necesarias para la fabricación y adecuando y optimizando los medios de producción con el desarrollo del producto. Además en este punto, no debemos olvidar que todos los manuales de gestión de la calidad empresarial hablan de satisfacer al «cliente interno».

Al igual que en la etapa anterior, si en la fase de producción se detecta la necesidad de hacer modificaciones en el diseño se puede retroceder hasta la fase anterior y rectificar los fallos detectados.

**Tabla 6. Técnicas recomendadas por el método en la fase 5, Llave del diseño**

<b>ETAPA 5</b>	<b>Técnicas ergonómicas</b>	<b>Técnicas de ecodiseño</b>
<b>Producción</b>		

	Ergonomía Laboral: Observación Mediciones de ambiente físico Entrevistas	Auditoria medio ambiental del proceso productivo
--	---	--

***Etapa seis: lanzamiento y comercialización***

En esta fase hay que intentar que nuestro producto destaque sobre los productos similares de la competencia. Una manera de destacar que se han considerado aspectos medioambientales son las eco etiquetas.

**Tabla 7. Técnica recomendada por el método en la fase 6, Llave del diseño**

<b><i>ETAPA 6</i></b>	<b><i>Técnicas ergonómicas</i></b>	<b><i>Técnicas de ecodiseño</i></b>
<b><i>Lanzamiento y comercialización</i></b>		
	Certificación ergonómica	Eco etiquetas

***Etapa siete: fin de ciclo de vida***

Será la última fase del proceso de diseño y en ella se llevarán a cabo tres tipos de acciones: verificación, planificación y evaluación. Es el momento de verificar que el producto final impacta de forma mínima en el medio ambiente y cumple las expectativas generadas en cuanto a la adaptación al ser humano.

Para finalizar el proceso, sería muy interesante evaluar los resultados del proyecto, analizando hasta qué punto se han cumplido los «Factores Motivantes» del mismo, tanto desde el punto de vista de la Ergonomía, como del de la Ecología.

**Tabla 8. Técnicas recomendadas por el método en la fase 7, Llave del diseño**

<b><i>ETAPA 7</i></b>	<b><i>Técnicas ergonómicas</i></b>	<b><i>Técnicas de ecodiseño</i></b>
<b><i>Fin de ciclo de vida</i></b>		

	Cuestionarios	Fuentes de información: Investigación medioambiental
	Entrevistas	
	Fuentes de información	
	Registros electrofisiológicas: registro facial de emociones,  eye tracking	

## RESULTADOS

Como resultados de la realización de las fases de este método, fueron obtenidos varias técnicas que nos desencadenan en áreas de oportunidades claras a aprovechar en los nuevos diseños y nos enfocan en las áreas más deficientes del nuevo producto, en cada una de las etapas se realizaron diferentes métodos, los cuales nos arrojan posibles áreas de acción en el nuevo diseño a realizar, las técnicas aplicadas fueron:

-Listas de comprobación

-Matriz MET

-Ecoindicadores

En las siguientes tablas se muestran los resultados obtenidos:

### Listado de comprobación: Realizada al caso de estudio analizado. Pupitre escolar estándar.

ETAPA DE DISEÑO	PREGUNTAS	RESPUESTAS
Análisis de necesidades	<p>¿Cómo responde su producto a las necesidades sociales?</p> <p>¿Cuáles son las funciones principales y auxiliares del producto?</p> <p>¿Cumple el producto estas funciones eficaz y eficientemente?</p>	<p>-Existen aulas que no tienen las cantidades necesarias de pupitres, y los niños se encuentran en posiciones desfavorecedoras para su salud.</p> <p>-Proporcionar superficies tanto para sentarse, como para escribir, lograr configuraciones espaciales diferentes.</p> <p>-El pupitre es diseñado, para lograr cumplir estas funciones</p>

		eficientemente, por lo cual es primordial.
Producción y obtención de materiales y componentes	<p>¿Qué problema puede surgir durante la producción y obtención de materiales y componentes?</p> <p>¿Cuántos y qué tipos de plástico son utilizados?</p> <p>¿Cuántos y qué tipos de aditivos son utilizados?</p> <p>¿Cuántos y qué tipos de metales son utilizados?</p>	<p>-Los materiales utilizados son reciclados, por lo tanto puede que no todo sea de 100% en calidad, como un material de primera.</p> <p>-No se utiliza ningún tipo de plástico.</p> <p>-Solo el aditivo utilizado en el acabado superficial.</p> <p>- No se utiliza ningún tipo metales.</p>
Producción	<p>¿Qué problemas pueden surgir durante el proceso de producción dentro de la empresa?</p> <p>¿Cuántos y qué tipos de procesos de producción se utilizan (incluyendo conexiones, tratamientos superficiales, impresiones y etiquetado)?</p>	<p>-Para realizar el producto el proceso principal es corte laser, puede que la maquina tenga algún problema de fallo técnico, etc.</p> <p>-Se utilizan tres procesos generales, cortado laser, doblado manual, y laminado como acabado superficial en zonas específicas.</p>
Distribución	<p>¿Qué problemas pueden surgir durante la distribución del producto hacia el consumidor?</p> <p>¿Qué tipo de envases y embalajes se utilizan (volumen, peso, materiales, reutilización)?</p> <p>¿Qué tipo de sistemas de transporte son utilizados?</p> <p>¿Está el transporte organizado eficientemente?</p>	<p>-Que los camiones de distribución tengan fallos técnicos o que estos se retrasen en la llegada por tráfico, etc.</p> <p>-El producto en si logra la forma de embalaje cuando se encuentra en la fase de desarmado (auto embalado)</p> <p>-Camiones comunes, de distribución de 3 Ton.</p> <p>-Sí, ya que el producto logra ocupar poco espacio cuando se encuentra desarmado y por lo tanto es muy eficiente el transporte en cuanto a volumen</p>

Utilización	<p>¿Qué problemas pueden surgir durante el uso, mantenimiento o reparación del producto?</p> <p>¿Cuánta y qué tipo de energía se necesita, directa o indirectamente?</p> <p>¿Cuántos y qué tipos de consumibles se necesitan?</p>	<p>-Que se le dé un uso indebido, o se deje expuesto a inclemencias del tiempo y acorte su vida útil.</p> <p>-Utiliza energía eléctrica para su producción, pero no necesita ninguna para su uso, común y diario.</p> <p>-Es un mobiliario, no consume energía alguna.</p>
Valorización y vertido	<p>¿Se están reutilizando componentes o materiales?</p> <p>¿Qué componentes pueden ser reutilizados?</p> <p>¿Pueden ser los componentes ser desmontados sin dañarlos?</p> <p>¿Qué materiales son reciclables?</p> <p>¿Pueden identificarse los diferentes tipos de material?</p>	<p>-Si en su totalidad es de materiales reciclados.</p> <p>-El producto es totalmente reciclable después de su vida útil.</p> <p>-Es una estructura común de ensamblaje sencillo, por lo cual se puede separar fácilmente si se desea.</p> <p>-Todo el mobiliario es reciclable, aún en la parte laminada.</p> <p>-Se utiliza un material único y común para todo el producto, (cartón).</p>

**Matriz MET: Realizada al caso de estudio analizado. Pupitre escolar estándar.**

	<b>Uso de materiales</b>	<b>Uso de energía</b>	<b>Emisiones Toxicas</b>
	<b>Entradas</b>	<b>Entrada</b>	<b>Salida</b>
<b>Obtención y consumo de materiales y componentes</b>	<p>Hierro (3 kg)</p> <p>Polipropileno (0.8 kg)</p> <p>Pinturas (0.25 l)</p> <p>Caucho (0.25 cm)</p> <p>Cartón (2,5 m)</p> <p>Tinta (0.05l)</p>	<p>Energía en los materiales importados.</p> <p>Consumo de energía en el transporte</p>	<p>Las emitidas en la extracción del hierro</p> <p>C2- emitido en el proceso del plástico</p>

		desde otro estado, por carretera (camiones 6 km por litro)	C4+ emitido en el proceso del plástico Agua y vapor de agua Vapores solvente partículas pigmentos Residuos de lavados pintura Derrames de pintura Emisión generada por el camión		
<b>Producción en la fabrica</b>	Moldes Guantes para calor Materiales para soldar Tornillería Control de calidad	Máquinas de fundición para el hierro Iluminación Máquina de doblado	Residuos de hierro Residuos de cartón del embalaje Residuos de lubricantes para la maquina		
<b>Distribución</b>	Empaque (Cartón impreso instrucciones, en una sola tinta)  Manual de armado	Gasolina para transportarlo dentro de la ciudad (camiones 6 km por litro)	Emisión generada por el camión Emisiones generadas por la impresión Restos del embalaje		
<b>Uso o utilización</b>	Desgaste de los regatones (caucho) de la silla  <table border="1" data-bbox="500 1686 792 1829"> <tr> <td><i>Mantenimiento</i></td> </tr> <tr> <td>Paños de tela, con agua para el aseo</td> </tr> </table>	<i>Mantenimiento</i>	Paños de tela, con agua para el aseo		Desecho del paño de tela para el aseo, cuando ya este viejo Desechos de agua Restos de regatones cambiados
<i>Mantenimiento</i>					
Paños de tela, con agua para el aseo					

	Destornilladores		
<b>Sistema de fin de vida</b> <b>Eliminación final</b>			Reciclar hierro (2 kg) Reciclar polipropileno Reciclar el embalaje (2 m) Reciclar el manual (0.04 kg) Desechos metal que este en mal estado, corroído, (1 kg)

### Ecoindicadores

Como resultado del caso de estudio realizado se obtienen los Ecoindicadores siguientes.

	Material o proceso	Cantidad	Indicador	Resultado	
<b>PRODUCCIÓN</b> (materiales, procesos y transporte)	Acero	3 Kg	86	258	
	Madera contrachapada	1 Kg	36	36	
	Plástico (PET)	2 Kg	380	760	
	Cortado de metal (acero)	3 Kg	0,00006	0.00018	
	Curvado de metal (acero)	3 Kg	0,00008	0.000024	
	Soldadura estándar (fuerte)	0.5 Kg	4000	2000	
	Moldeado por inyección	2 Kg	44	88	
	<b>TOTAL</b>				<b>3.142.00004</b>
	<b>USO</b> (transporte, energía y materiales auxiliares)	Material o proceso	Cantidad	Indicador	Resultado
Cartón de embalaje		1 Kg	69	69	
Papel (instrucciones de armado)		0,5 Kg	96	48	
Plástico (retráctil, ABS)		0.8 Kg	400	320	

	Transportación (camión 16 t)	10 tkm	34	340
	<b>TOTAL</b>			<b>777</b>
<b>DESECHO</b> (por cada tipo de material)	<b>Material y tipo de proceso</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Indicador</b>	<b>Resultado</b>
	Residuos urbanos, acero	2,8 Kg	-5,9	-3.1
	Residuos urbanos, papel	0,5 Kg	-1,2	-0.7
	Residuos urbanos, cartón	0.9 Kg	-8,3	-7.4
	<b>TOTAL</b>			<b>-11.2</b>
<b>Resultado total de todas las fases</b>				<b><u>768.942</u></b>

Rediseño Propuesto

<b>PRODUCCIÓN</b> (materiales, procesos y transporte)	<b>Material o proceso</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Indicador</b>	<b>Resultado</b>
	Cartón (reciclado)	4 Kg	69	276
	Corte laser	0,5 Kg	0,00006	0.00003
	<b>TOTAL</b>			<b>276.3</b>
<b>USO</b> (transporte, energía y materiales auxiliares)	<b>Material o proceso</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Indicador</b>	<b>Resultado</b>
	Papel (instrucciones de armado)	0,5 Kg	96	48
	Transportación (camión 16 t)	10 tkm	34	340
	<b>TOTAL</b>			<b>388</b>
<b>DESECHO</b> (por cada tipo de material)	<b>Material y tipo de proceso</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Indicador</b>	<b>Resultado</b>
	Residuos urbanos, papel	0,5 Kg	-1,2	-0.7
	Residuos urbanos, cartón	4 Kg	-8,3	-4.3
	<b>TOTAL</b>			<b>-5</b>
<b>Resultado total de todas las fases</b>				<b><u>665</u></b>

## DISCUSIÓN

Debemos tener en cuenta que los diseñadores en todo momento trabajan en el límite de sus conocimientos actuales (Ball & Christensen, 2009) citado en (Daalhuizen, 2014), por lo que todas las herramientas o métodos utilizados, permiten conocer áreas donde se puede realizar actividades de diseño que ayudan a mejorar el producto, en la lista de comprobación se refleja claramente que etapa es la más deficiente del producto, ya que existe una vinculación entre las etapas generales de diseño, y el planteamientos o reformas de preguntas que dirigen al diseñador hacia las debilidades del producto en análisis, por lo que canaliza y modera la forma de pensamiento de este, dando respuestas específicas a las necesidades que tiene el producto y ver antes de adentrarse en detalles técnicos o de diseño específicos donde puede existir problemas que podemos prever desde etapas iniciales de un proyecto.

Por otra parte la Matriz MET, proporciona datos contables de las entradas en el uso de materiales, la entradas en el uso de energía, y las salidas de emisiones Toxicas, en cada una de la etapas del proceso productivo de un pupitre estándar, por lo cual podemos ver que, ente caso en específico el área más crítica de salidas toxicas y contaminantes se encuentra en la primare etapa (Obtención y consumo de materiales y componentes), donde todos los componente de materias primas utilizados proporciona desperdicios, luego está la última etapa la cual proporciona grandes componentes de reciclaje que de igual manera contribuyen a la contaminación, por lo cual esta etapa y las materia primas (compréndase por materias primas, MATERIALES) son un área de oportunidad muy fuerte y prevaleciente para proponer mejoras de diseño en esta etapa, en busca de diseño verde o mejoras de ecodiseño.

Teniendo en cuenta el caso de estudio analizado podemos ver que los resultados finales pueden ser mejorables sobre todo en la producción es decir, con los materiales, los procesos y la transportación en esa etapa, teniendo en cuanta los tres métodos al unísono nos percatamos que arrojan una etapa más compleja o deficiente que las demás, lo que nos ayuda y guía a trabajar soluciones de diseño que enfatizen esta etapa inicial y por lo que todos tres métodos utilizados nos proporcionan una guía, y aumenta las posibilidades de dar soluciones exitosas y acertadas con problemáticas reales de los productos y el ecosistema.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. BALL, L. J., & CHRISTENSEN, B. T. (2009). ANALOGICAL REASONING AND MENTAL SIMULATION IN DESIGN: TWO STRATEGIES LINKED TO UNCERTAINTY RESOLUTION. *DESIGN STUDIES*, 30(2), 169–186.
2. CASTAÑEDA, J. S. (2014). CONTEXTUALIZACIÓN Y ENFOQUES EN EL ESTUDIO DE COMPORTAMIENTOS PROAMBIENTALES O ECOLÓGICOS CON MIRAS A LA PERFILACIÓN DEL CONSUMIDOR VERDE. *SUMA DE NEGOCIOS*, 5(10), 34–39.

3. CRISTINA, I., & MORENO, E. (N.D.). ECODISEÑO Y DESARROLLO DE PRODUCTOS, 59–71.
4. DAALHUIZEN, J. J. (2014). METHOD USAGE IN DESIGN: HOW METHODS FUNCTION AS MENTAL TOOLS FOR DESIGNERS.
5. ISO, N. (2003). TR 14062. *ENVIRONMENTAL MANAGEMENT–INTEGRATING ENVIRONMENTAL ASPECTS INTO PRODUCT DESIGN AND DEVELOPMENT*.
6. LÓPEZ, G. A. R. (2011). *UNIVERSIDAD DE OVIEDO. PSICOTHEMA*.
7. LUNA PLASCENCIA, R., CASTAÑÓN BARRIENTOS, A., & RAZ-GUZMÁN, A. (2011). LA BIODIVERSIDAD EN MÉXICO: SU CONSERVACIÓN Y LAS COLECCIONES BIOLÓGICAS. *CIENCIAS*, 101(101).
8. MANUEL, V., PONTE, D., LETICIA, Y., & SMITH, D. (2004). VALORES Y ACTITUDES SOBRE LA CONTAMINACIÓN AMBIENTAL EN MÉXICO. REFLEXIONES EN TORNO AL POSMATERIALISMO. *REVISTA MEXICANA DE SOCIOLOGÍA*, 66(3), 511–535. [HTTPS://DOI.ORG/10.2307/3541401](https://doi.org/10.2307/3541401)

## 2.2.4 Combinación del HAPCC y el ACV para el diseño de productos alimenticios en Cuba.

### **Yulexis Linares Meneses** <sup>(1)</sup>

Doctora en Ciencias técnicas. Trabaja en Centro de Control de calidad de alimentos CENICA Especialista en Inspección de alimentos. Ha presentado trabajos en eventos nacionales e internacionales relacionados con el Análisis de riesgo y la metodología HACCP.

### **Elena Rosa Domínguez** <sup>(2)</sup>

Doctora en Ciencias Técnicas. Dirige la línea universitaria de Protección ambiental para el desarrollo sostenible, investiga en el tema de Análisis de Ciclo de Vida. Dirige la red de Análisis de Ciclo de Vida en Cuba. Ha presentado y publicado numerosos trabajos relacionados con el tema de ACV.

### **Belkis Fabián Guerra Valdés** <sup>(3)</sup>

Doctora en Ciencias técnicas. Trabaja en Centro de Estudio de Química Aplicada. Especialista en Análisis de Riesgos Tecnológicos y Ambientales. Ha presentado trabajos en eventos nacionales e internacionales relacionados con el Análisis de riesgo y la metodología HACCP

**Dirección (1):** Calle 11 No 2 entre 4ta y 6ta Reparto Universitario Santa Clara Vila, Clara Cuba código postal 54830 e-mail: [erosa@uclv.edu.cu](mailto:erosa@uclv.edu.cu))

## **RESUMEN**

La protección al consumidor está basada en el diseño de productos sustentables que eviten los daños a la salud humana y el ecosistema en todo su ciclo de vida. En este trabajo se propone una nueva categoría denominada “falta de inocuidad alimentaria” para lo cual se incorpora dentro de la metodología Análisis de ciclo de vida, la metodología Análisis de peligros y puntos de control críticos; de esta forma se logra la determinación de los riesgos que representa la producción y consumo de alimentos a la salud humana, al evaluar esta nueva categoría dentro de la categoría de punto final “daños a la salud humana” todo esto basado en las normas internacionales ISO 14040:2009, ISO 14044:2009 y la serie de normas NC ISO 22002-1 a 4:2015. Se presenta un procedimiento novedoso para la modelación de los factores de caracterización asociados con la categoría falta de inocuidad alimentaria, se definen tres categorías de impacto en punto medio, falta de inocuidad por peligros físicos, químicos y microbiológicos presentes en los alimentos, referidos a la sustancia equivalente seleccionada para cada tipo de peligro relacionada con las sustancias contaminantes. Se crean modelos para el cálculo del factor de caracterización de cada peligro físico, químico y microbiológico, determinando un total de 218 factores de caracterización, 5 para los peligros físicos, 208 para los químicos y 5 para microbiológicos, expresada en cantidad de sustancia equivalente/ cantidad de sustancia contaminante. Se explican los beneficios de considerar estos indicadores mediante la aplicación a la producción de arroz, café, pastas alimenticias, helado y carne de res.

**Palabras claves:** HAPCC; ACV; Ecodiseño de alimentos

## **INTRODUCCIÓN**

La industria productora de alimentos no solo es importante el análisis de riesgo tecnológico, pues al utilizarse su producto para el consumo humano se hace necesario evaluar también las posibilidades de contaminación de este producto y sus posibles consecuencias para el hombre.

Uno de los instrumentos actualmente utilizados por estas industrias o empresas agroalimentarias para realizar el control de la calidad de los alimentos es el Análisis peligros y puntos de control críticos, (Haccp por sus siglas en inglés).

EL Codex Alimentarius define al Sistema de "Análisis de peligros y puntos de control críticos", como un enfoque sistemático de base científica que permite identificar riesgos específicos y medidas para su control, con el fin de asegurar la inocuidad de los alimentos. Es un instrumento para evaluar los riesgos y establecer sistemas de control que se orienten hacia la prevención en lugar de basarse en el análisis del producto final. (CAC/RCP, 1997).

El estudio de las características fundamentales del sistema Haccp permite apreciar que no se trata de un análisis complejo y ajeno a la actividad normal de la empresa. El Haccp consiste, simplemente, en realizar las actividades normales de fabricación de una forma sistematizada y enfocada en la prevención del riesgo, con el propósito de evitar errores antes de que se produzcan.

De igual forma existen otras herramientas que evalúan el daño que las industrias causan a los ecosistemas con el fin de detener, o al menos, limitar las emisiones a los diferentes receptores para favorecer el saneamiento ambiental, dentro de estas normas y metodologías que permiten la identificación y evaluación de los aspectos generados y los impactos provocados, esta el Analisis de ciclo de vida (ACV). Esta es una de las herramientas más completas aplicables en la evaluación de impactos ambientales, pues analiza los procesos desde la cuna hasta la tumba, es decir, desde su enfoque ambiental analiza los daños que se ocasionan, en diversas categorías de impacto y daños, a los recursos, al ecosistema y a la salud humana.

Ahora bien, tanto con la aplicación del Haccp como del ACV a la industria productora de alimentos se han obtenido resultados importantes en la evaluación de los riesgos, pues con el Haccp se logra establecer el límite crítico para un parámetro dado en un punto y en un alimento concreto, a su vez con el ACV se analizan todos los impactos ambientales producidos en todas las etapas y actividades que conforman el ciclo de vida del proceso analizado, para finalmente en ambos casos establecer las medidas correctivas oportunas en cada situación. El uso de estas herramientas siempre ha sido de forma independiente; y en ningún caso se ha realizado un análisis cuantitativo de los riesgos que representa para las personas la ingesta de alimentos contaminados, expresado en categorías de impacto y daños a la salud.

En las metodologías de evaluación de impacto de ciclo de vida existen categorías que en sus modelos evalúan el daño potencial a la salud por la ingestión de alimentos contaminados con sustancias químicas, este es el caso de la toxicidad humana, sin embargo en ninguna de sus categorías se incluye la evaluación del impacto por la falta de inocuidad en un alimento a partir de la evaluación directa de los peligros físicos, químicos y microbiológicos por la ingestión, de ahí la necesidad de introducir categorías que permitan realizar este análisis, utilizando el enfoque de ciclo de vida, lo cual resulta de vital importancia al no haberse tenido en cuenta en ninguna de las metodologías existentes, constituyendo así un aporte de esta investigación.

Las metodologías para la evaluación de impacto en el ciclo de vida de un sistema producto, no incluyen categorías de impacto debido a la falta de inocuidad alimentaria por presencia de peligros físicos, químicos y/o microbiológicos debido a la ingestión del alimento, que contribuyan a la categoría de daño a la salud humana.

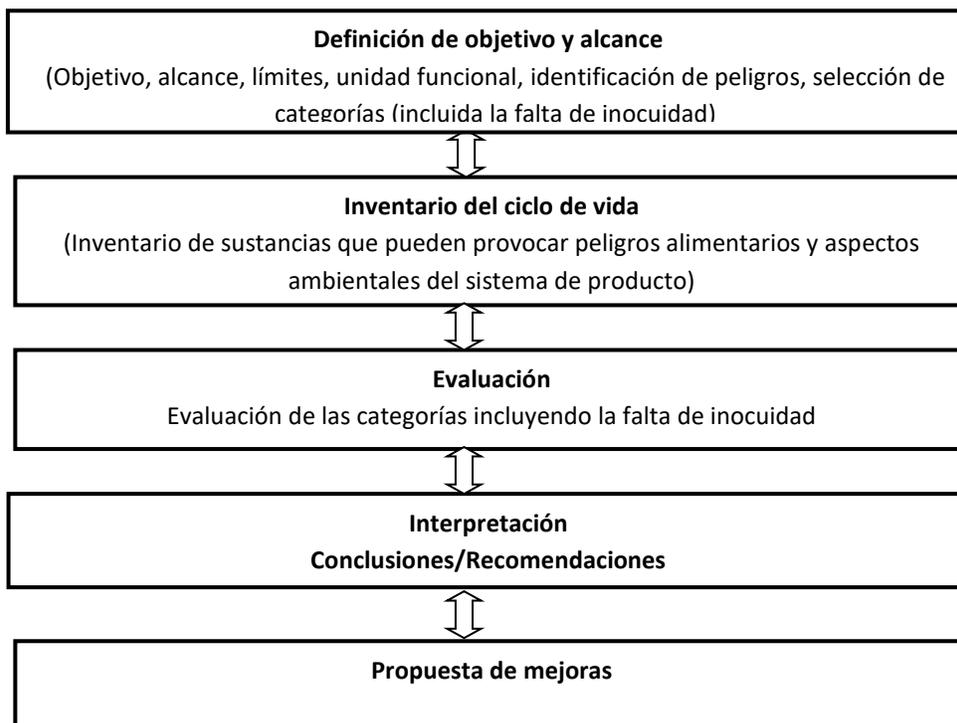
Esta investigación parte de la hipótesis de que:

**Hipótesis:** Combinando las metodologías ACV y Haccp, se podrá evaluar de forma integral el impacto de un alimento incluyendo nuevas categorías relacionadas con la falta de inocuidad alimentaria, que se agruparán en la categoría de daño a la salud humana.

**Objetivo general:** Desarrollar una metodología de ACV para alimentos incluyendo las categorías falta de inocuidad alimentaria en la categoría de daño a la salud humana.

### ACV incorporando las categorías falta de inocuidad alimentaria

La metodología expuesta, en la figura 2.1 plantea de forma global, la incorporación de las categorías falta de inocuidad alimentaria dentro de ACV.



**Figura: 1 ACV+ HACCP**

Se realiza una contribución al ACV incluyendo las afectaciones por ingestión de alimentos, que tiene como aspecto novedoso la introducción de las categorías de punto medio falta de inocuidad alimentaria sobre la base de las normas NC-ISO 14040:2009, 14044:2009 y NC 136:2017, relacionadas con ACV y HACCP respectivamente. La misma se muestra detalladamente en la figura.2.

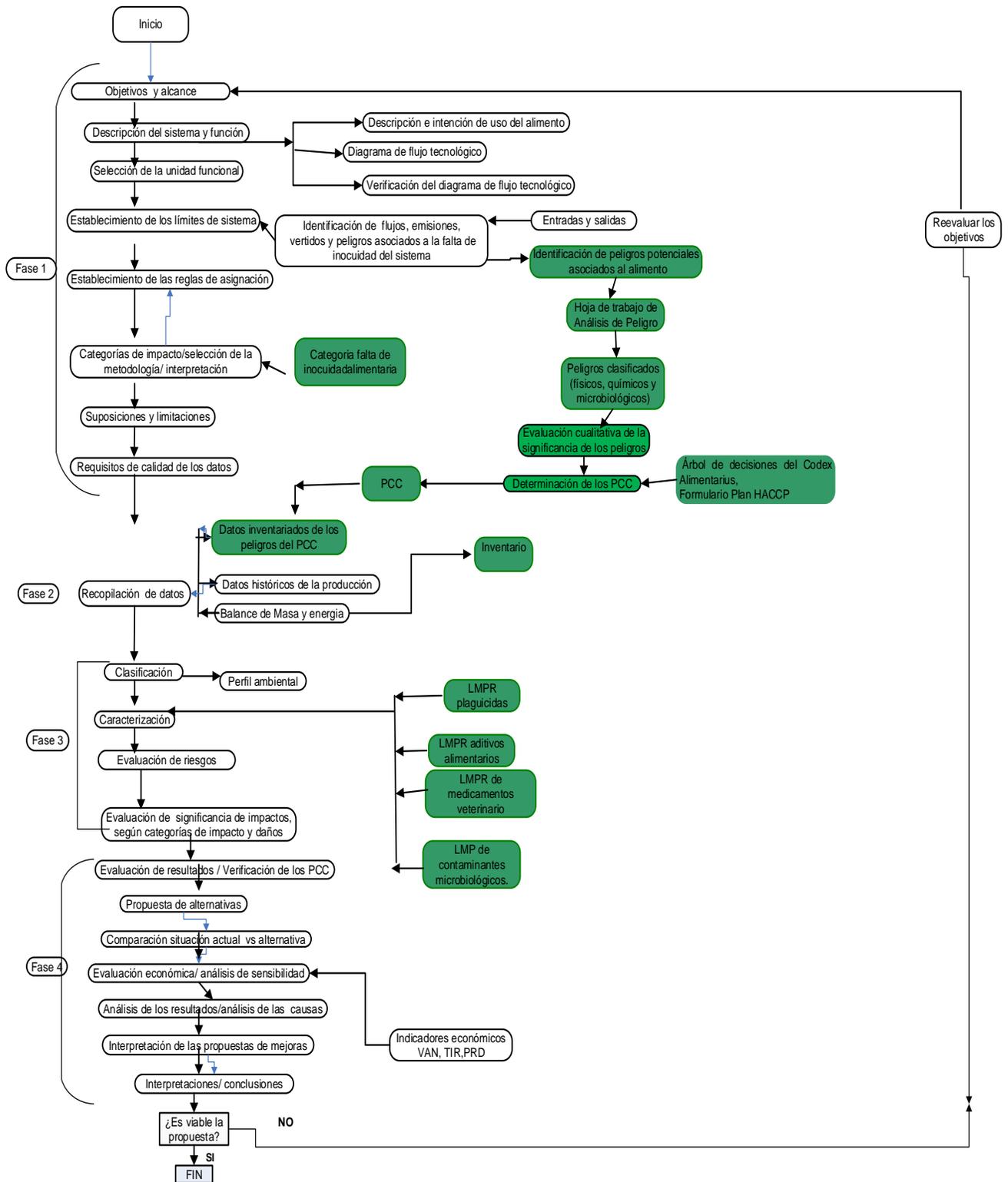


Figura 2: Etapas del ACV considerando el HACCP.

Modelación del factor de caracterización para la categoría falta de inocuidad alimentaria

Para el cálculo de los factores de caracterización asociados con la categoría falta de inocuidad alimentaria se considera el factor de ingesta y el factor de efecto, teniendo en cuenta la ingesta diaria admisible de cada contaminante. El factor de ingesta, es un parámetro que relaciona la cantidad de una sustancia contaminante en un medio, en este caso el alimento, con la cantidad relativa de esta sustancia que es admisible (datos normados).

La literatura ha reportado técnicas para cálculos de los factores de efecto para diferentes medios agua, suelo y aire dependiendo de la categoría de impacto a evaluar. El método desarrollado por Guinée et al, ha sido la base para la mayor parte de las adaptaciones, considera el transporte entre medios y la exposición con base en el modelo "Uniform System for the Evaluation of Substances" (USES), Jolliet y Crettaz desarrollaron otro método denominado "Tiempo crítico de superficie" que incluye el transporte entre medios y la exposición, mientras el método de Guinée et al, 1996 pone énfasis en el transporte entre medios, el de Jolliet y Crettaz se concentra en la exposición y Heijungs et al 1992 desarrollaron factores para ambientes acuáticos y terrestres, referidos a la ecotoxicidad, ninguno hace referencia a sustancias contaminantes presentes en los alimentos y matemáticamente son expresados como la relación entre las dosis absorbidas y la dosis total aceptable ecuaciones 1 y 2 :

$$HTP_{ecom,c,i} = E_{c,i} \times F_{ecom,c,i} = \frac{\text{dosis absorbida de la emisión en ecom vía c}}{\text{dosis total aceptable}}$$

$$HTP_{ecom,i} = \sum_c f_{ecom,c,i} \times HTP_{ecom,c,i}$$

$$\text{toxicidad humana} = \sum_i \sum_{ecom} HTP_{ecom,i} \times m_{ecom,i}$$

**ecuación 1**

Siendo:

HTP queda expresado en  $m^2 \cdot \text{año} \cdot \text{kg}$

E es el factor de efecto expresado en  $m^2 \cdot \text{año} \cdot \text{kg}^{-1}$ . Definido como el inverso de la dosis anual total aceptable para el mundo.

F es un factor de transferencia entre medios que depende de la sustancia por  $m^2$

i = sustancia, ecom = emisión al medio, c = medio

f = factor de distribución (parte de la sustancia que se asigna al compartimiento c)

El método genera tres valores independientes de toxicidad humana para aire, agua y suelo.

$$\text{Toxicidad humana}_c = \sum_i \sum_{ecom} EF(htc)_{ecom,i} \cdot m_{ecom,i}$$

**ecuación 2**

**Heijungs et al (1992)** desarrollaron factores para ambientes acuáticos y terrestres, según las ecuaciones 3 y 4.

$$ECA = \frac{1}{MTC_a}$$

**ecuación 3**

$$ECT = \frac{1}{MTC_s}$$

**ecuación 4**

Donde; MTC es la concentración máxima permisible para el agua y el suelo y se determina a partir de una metodología desarrollada por la USEPA.

Partiendo de estos preceptos se modelan los factores de caracterización para las categorías falta de inocuidad alimentaria donde el factor de ingesta y efecto de un alimento se representa como el inverso de la dosis máxima permisible de ingesta, ecuación 2.6.

$$FE = \frac{1}{IDA}$$

**ecuación 5**

Entiéndase por IDA la ingesta diaria admisible de una sustancia contaminante cuyo valores son recomendados por la Comisión del Codex Alimentarius, las notificaciones de la Organización Mundial de la Salud (OMS), así como el Comité Mixto FAO/OMS de Expertos en Aditivos Alimentarios (JECFA) de la cantidad de aditivo alimentario, residuos de medicamentos, plaguicidas, radiaciones permitidas, etc. expresada respecto al peso corporal, que puede una persona ingerir diariamente durante toda la vida sin riesgos para la salud.

La evaluación de impacto de esta categoría, se considera el factor de ingesta y el factor de efecto según corresponda a los posibles peligros de cada alimento, que no son más que sustancias o microorganismos contaminantes presentes en un alimento que afectan la inocuidad del mismo y provoquen un daño a las personas.

Se define el factor de caracterización para la categoría falta de inocuidad alimentaria para riesgos físicos, químicos y microbiológicos.

$$FC = KI(f, q, m)$$

**ecuación 6**

En la ecuación 6 se representa el KI (f,q,m) que es la relación de la IDA de la sustancia seleccionada como sustancia equivalente para cada tipo de peligro y la IDA de la sustancia contaminante, expresado en mg de sustancia equivalente/mg de sustancia contaminante/peso corporal/día.

### Evaluación de significancia de impactos

Siendo las categorías de impacto falta de inocuidad alimentaria, expresada en cantidad de sustancia equivalente según la sustancia contaminante físico mg de vidrio equivalente (ecuación 7), químico mg de Arsénico equivalente (ecuación 8) y microbiológico ufc *Listeria monocytogenes* equivalente (ecuación 9), nombrados falta inocuidad alimentaria, (FIA) como categoría introducida por la autora, que aportan a la salud humana.

$$FIA(f) = \sum_{i=1}^n \left( \prod_{1}^{m_f} K_{fi} FC_{fi} \right) * mx$$

**ecuación 7**

$$FIA(q) = \sum_{i=1}^n \left( \prod_{1}^{m_q} K_{qi} FC_{qi} \right) * mx$$

**ecuación 8**

$$FIA(b) = \sum_{i=1}^n \left( \prod_{1}^{m_b} K_{bi} FC_{bi} \right) * mx$$

**ecuación 9**

- $K_{f, q, b i}$  = inventariado/normado de contaminantes físicos, químicos, biológicos (mg de sustancia contaminante/ kg de producto).
- $FC_{fi, qi, bi}$  = Ingesta diaria permisible de contaminantes físicos, químicos, biológicos. (mg de sustancia equivalente/mg de ingesta permisible por peso corporal /día).mx = cantidad de producto consumido / día.

### Ponderación de la categoría

El indicador para evaluar la afectación a la salud humana, serán expresadas en DALY teniéndose una lista de factores de ponderación para cada tipo de incapacidad; los mismos han sido determinados según las exposiciones y niveles de intensidad, según Murray & López.1997 y Goedkoop et al 2013.

Se selecciona el DALY usando los datos de Global Burden of Disease and Injury Series, por Murray y A López y su vez los DALY a Pt.

Los DALY son supuestos mediante factores relacionados con cada sustancia contaminante, el efecto toxicológico que esta pueda ocasionar a los humanos y el factor de daño. Estos factores según el informe ReCipe 2008, 2013 fueron calculados según la ecuación 10 y es el resultado de la relación de los factores de probabilidad de afectarse la salud y la ingesta de la sustancia para lo cual se considera la ED50x, dosis letal referida a la dosis a la que se produce la muerte por una sustancia contaminante.

La literatura consultada (ReCipe 2008, 2013) de acuerdo a la probabilidad de ocurrencia de la enfermedad y el efecto que estas provocan en la salud humana, reportan factores estimados para cada categoría de daño, que pueden ser utilizados con cierto grado de incertidumbre, estos son para las sustancias no carcinogénicas 0,26, para las que producen efectos carcinogénicos 0,59, así como afectaciones diarreicas e intoxicaciones. Y para los efectos relacionados con las sustancias químicas 11,9 años de vida perdidos, valores que son utilizados en esta investigación para estimar los DALY de cada una de las categorías de impacto relacionadas con la falta de inocuidad.

### Validación de la metodología.

Para la validación de la metodología propuesta se realiza su aplicación a varios casos de estudio, con el objetivo de mejorar sus requisitos y permitir una mejor aplicabilidad a otros sistemas de producto y a otras etapas de la cadena alimentaria. Los resultados se comparan con los obtenidos sin incluir la categoría de falta de inocuidad alimentaria. Los mismos se muestran en la siguiente tabla.

**Tabla: 1 Resultados de los casos de estudio.**

<b>PRODUCTO</b>	<b>ARROZ</b>	<b>CAFÉ</b>	<b>CARNE</b>
Establecimiento	Molino Arrocerero Manolo Solano	Torreafactora Manuel Ascunce Domenench	Matadero Chichi Padrón
Ubicación	Sancti Spíritus	Villa Clara	Villa Clara
Fecha del estudio	2010	2012	2014
Alcance	Etapa agrícola, secado e industrial	Procesamiento industrial	Procesamiento industrial
Límites del estudio	Se excluye la producción de envases	Se excluye la producción de envases	Se excluye la producción de envases
Unidad funcional	1 kg	11kg	1kg
Norma de especificación de calidad e inocuidad	NC 736:2009	NRIAL 212:2012	NC 823:2011
Tipo de peligros identificados	Físico Químico Microbiológico	Físico Químico Microbiológico	Químico Microbiológico
Peligros significativos	Residuos de plaguicidas y hongos por encima de los LMP. Persistencia de materias extrañas.	Residuos de plaguicidas y hongos por encima de los LMP. Partículas ferromagnéticas.	Residuo de medicamentos por encima de los LMP. Microorganismos patógenos <i>E. coli O157:H7</i>
<b>PCC</b>	Recepción y almacenamiento del arroz cáscara seco. Limpieza del arroz. Almacenamiento del arroz consumo.	Recepción del café oro. Eliminación de partículas ferromagnéticas.	Ganado vacuno Descuere almacenamiento
<b>Procesos para el consumo</b>	Cocción 20 min aproximado	Elaboración de infusión 6-7 min.	Cocción 3 min mínimo.
<b>FIA</b>	Físico (mg de vidrio eq) 207,12	125,47	0

	Químico (mg de As eq.)	657,13	399,97	245,32
	Microbiológico (ufc Listeria . M.eq)	0,11	391,2	624,3
<b>Caracterización</b>		SimaPro 6.0 Eco indicador 99 v 2.05	SimaPro 6.0 Eco indicador 99 v 2.04	SimaPro 7.3 ReCiPe v1.06.
<b>DALYs antes de FIA</b>		6,52.10 <sup>-3</sup>	5,674.10 <sup>-5</sup>	2,137.10 <sup>-4</sup>
<b>DALYs con FIA</b>		6,278.10 <sup>-1</sup>	2,561.10 <sup>-4</sup>	2,973.10 <sup>-4</sup>
<b>Propuestas de mejoras</b>		Sustitución de ciclones. La limpieza de equipos y pisos debe realizarse por aspiración. Control de la recepción de arroz cáscaras análisis entomológico.	Adquisición de quemadores de humo, permiten mitigar las emisiones al aire, la disminución del consumo de agua, así como los daños a la salud.	Tratamiento biológico para los residuos líquidos.

## CONCLUSIONES

1. La investigación constituye un aporte metodológico, ya que por primera vez incluye la categoría falta de inocuidad alimentaria como un punto intermedio, que tributa a la categoría de daño salud humana, teniendo en cuenta el daño a la salud por ingestión del alimento.
2. Se crean modelos para el cálculo del factor de caracterización específicos para cada peligro físico, químico y microbiológico, determinando un total de 218 factores de caracterización en función de la sustancia equivalente para peligros físicos, químicos y microbiológicos, tomando como sustancia contaminantes equivalentes el vidrio, el arsénico y como microorganismos la Listeria monocytogenes respectivamente.
3. El uso de la metodología en los casos de estudio referidos en esta investigación permitió la propuesta de medidas para mitigar los impactos ambientales negativos debido al uso de recursos y los asociados con la inocuidad alimentaria corroborándose su factibilidad económica y ambiental.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. CAC/RCP-1 (1969). Sistema de Análisis de Peligros y Puntos de Control Críticos (APPCC) y Directrices para su aplicación. Rev.3, 1997
2. Goedkoop Mark, Heijungs Reinout, Huijbregts Mark, An De Schryver, Struijs Jaap, van Zelm Rosalie .ReCiPe 2008 .A life cycle impact assessment method which comprises harmonized category indicators at the midpoint and the endpoint level. May 2013.
3. Guinée, J, Gorrée, M., Heijungs, R., Huppes, G., Kleijn, R., De Koning, A., Van Oers, L., Wegener Sleswijk, A., Suh, S., Udo de Haes, H, De Bruijn, J., Van Duin, R., Huijbregts, M.A., 2002. Handbook on Life Cycle Assessment: Operational Guide to the ISO Standards. Kluwer Academic Publishers.
4. Heijungs R. Environmental Life Cycle Assessment of Products, Centre of Environmental Science, Leiden (1992)
5. Jolliet, O., 2004. IMPACT 2002+: A New Life Cycle Impact Assessment Methodology. International Journal of Life Cycle Assessment 8, 324–330.
6. Murray y López A. Global Burden of Disease and Injury Series, 1997 pp 8- 79



## **2.2.5 Diseño de una extrusora de filamento para impresión 3D aplicando los conceptos de eco innovación y ciclo de vida en la Ingeniería de producto.**

### **Fernando Iturbide Jiménez**

Maestro en diseño industrial y manufactura CAD/CAM Profesor Investigador del Instituto de Diseño Universidad tecnológica de la Mixteca, Oaxaca, interés en desarrollo de nuevos productos y aplicaciones CAD/CAM/CAE.

### **Álvaro Jesús Mendoza Jasso**

Doctor en Ingeniería mecánica Profesor Investigador de la Jefatura de Ingeniería Industrial en Universidad Tecnológica de la Mixteca, Oaxaca, interés en desarrollo de nuevos productos y en materiales compuestos de fibra

### **Jenny Elizabeth Chávez Martínez**

Ingeniera en Diseño, diseñadora en iluminación MAG S.A. de C.V. área de interés en productos sustentables.

### **Agustín Santiago Alvarado**

Doctor en física aplicada Profesor Investigador Instituto de física en la Universidad Tecnológica de la Mixteca área de interés simulación a través del MEF

**Dirección:** Universidad Tecnológica de la Mixteca, Instituto de Diseño Km 2.5 Carretera a Acatlima, Huajuapán de León, Oaxaca. Tels. (953) 5320214 ext. 250.

Correo: [lturbide@mixteco.utm.mx](mailto:lturbide@mixteco.utm.mx)

### **Resumen:**

Las aplicaciones y el uso de la impresora 3d han ido en aumento de la misma manera que el uso indiscriminado de materiales de aporte (filamento) para elaborar los modelos o prototipos en 3D; se estima que las cargas de plástico o rollos de filamento oscilan entre 30 y 60 dls. En el presente trabajo se desarrolla una extrusora de filamento para impresión 3D a partir de los residuos de la fibra de polipropileno utilizados en los procesos artesanales de la región de Mixteca y Valles Centrales de Oaxaca.

Para el diseño y desarrollo de esta nueva propuesta de extrusora 3d se consideró El impacto medioambiental en los principales componentes de la propuesta, calculando su impacto medioambiental y del ciclo de vida (LCIA). Mediante el método de evaluación TRACI (Tool for Reduction and Assessment of Chemicals and Other Environmental Impacts

**Palabras clave:** Extrusora, Ciclo de Vida, Diseño, Artesanía.

## Introducción

En la región mixteca y parte de valles centrales se elaboran diversas artesanías de fibra sintética (Polipropileno, PP), que tiene las siguientes características: tipo charrito (fibra delgada) con un ancho de 3 mm. y grosor de 0.28 a 0.32 mm, largo de 115 cm. La elaboración de cada artesanía genera residuos en la etapa de acabado (Figura 1), que generalmente terminan en una incineración domiciliaria con otros residuos, donde en el mejor de los casos se aprovecha la energía calorífica, o se tira a la intemperie en barrancos o zonas de cultivo.



**Figura 1, Ciclo de vida del tejido de palma sintética región de la Mixteca, Oaxaca.**

Considerando un total de 1260 artesanos de tiempo completo ubicados en el municipio de San Jerónimo Sosola, y las comunidades de Santa Catarina Adequez y Santa María Tinú, se proyecta una generación de 500 kg de residuos semanales, donde cada artesano aporta en promedio 0.307 kg, cantidad estimada debido a que la elaboración de artesanías se realiza en conjunto con otras actividades.

**Tabla 1. Características físicas de muestras de fibra sintética. Fuente: Elaboración propia.**

Muestra	Nombre	Proveedor	Dimensiones (cm)			Volumen (cm <sup>3</sup> )	Masa (g)	Densidad g/cm <sup>3</sup>	Densidad Kg/m <sup>3</sup>
			Ancho	Largo	Grosor				
A	Rollo	Perlux	0.6	10	0.043	0.258	0.1412	0.5473	547.3
B	Regular	Perlux	0.5	10	0.038	0.190	0.1048	0.5515	551.5
C	Charrito	Perlux	0.5	10	0.028	0.140	0.0538	0.3842	384.2
D	Rollo	Artesanos	0.6	10	0.043	0.258	0.1412	0.5473	547.3
E	Regular	Artesanos	0.5	10	0.037	0.185	0.1020	0.5513	551.3
F	Charrito	Artesanos	0.5	10	0.028	0.140	0.0538	0.3842	384.2

### **Especificación de la oportunidad.**

El reciclaje de plástico en forma doméstica plantea un consumo energético menor en recolección, transporte y procesamiento del plástico, reduciendo así de 70 a 80% de consumo energético al producirse un nuevo producto en comparación a utilizar el 100% de material virgen. La Ethical Filament Foundation, que actúa ayudando a los recolectores de vertederos (EU), sugiere que algunas de esas personas podrían elevar su nivel de vida dedicándose al reciclado doméstico de plásticos (Kreiger, Mulder, Glover y Perce, 2014). El reciclaje en la extrusión de filamento para impresoras 3D es un área de oportunidad que se está optando a nivel mundial a partir de residuos del mismo filamento comercial o con residuos comunes, ejemplo de ello es el proyecto Recycle Bot en Michigan Tech, 2014, desarrollado por un equipo investigador 3 a cargo de Joshua Pearce quien recicla botellas de polietileno para producir este filamento (Kreiger M. et al., 2014).

### **Manufactura aditiva (MA) y sostenibilidad medio ambiental**

La Manufactura Aditiva I (MA) o comúnmente conocida como impresión en 3D, fue valorada en \$ 6 mil millones de dólares en 2016, y se prevé que crezca a más de \$ 26 mil millones para 2022. Este rápido crecimiento ha surgido principalmente debido a la evolución de la misma, pero principalmente como una herramienta para la fabricación de prototipos útiles

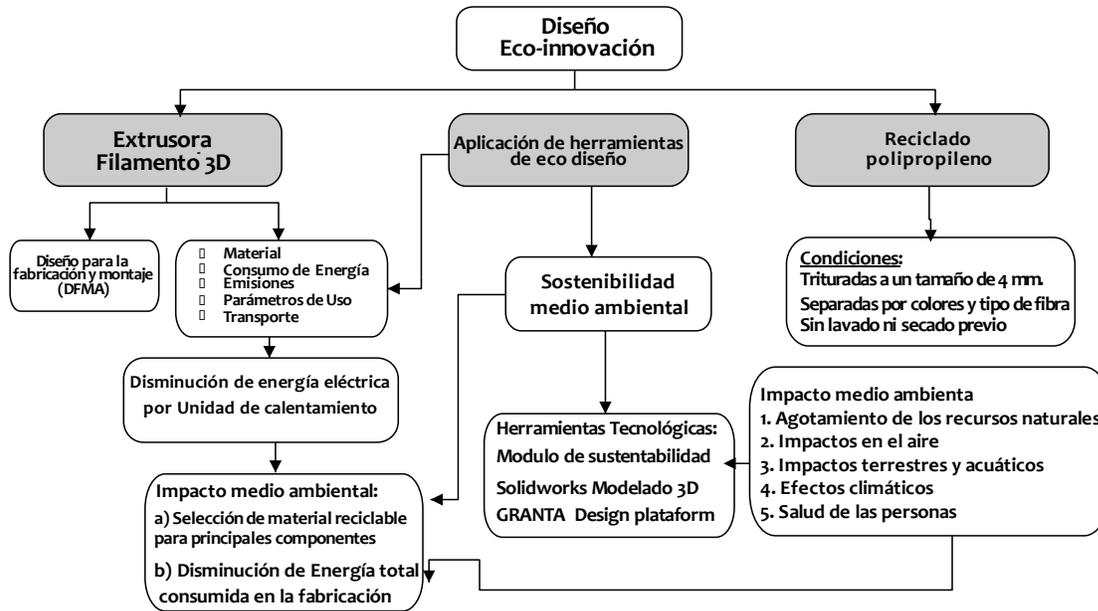
y algunas aplicaciones de alto valor (por ejemplo, en la industria aeroespacial, dispositivos médicos y en la industria automotriz).

La fabricación aditiva consiste en convertir el material de entrada en un producto. La eficiencia de este proceso de conversión es una clave determinante del impacto medio ambiental asociado con la fabricación (Gutowski et al., 2009). La fabricación aditiva tiene un gran potencial para proporcionar una cantidad de ventajas de sostenibilidad hacia el medio ambiente. Estas ventajas incluyen la generación de menos residuos durante el proceso, debido a que en lugar de desprender residuos va poniendo capas de material fundido; así como tiene la capacidad de optimizar las geometrías y aligerar los componentes que a su vez reducen el consumo de material de fabricación aunado a la disminución del consumo de energía en su uso; todo esto da como resultado la reducción de los sistemas de transporte en la cadena de suministro; se disminuye el inventario de desechos debido a la capacidad de crear piezas de repuesto por pedido (Chen et al., 2015; Mani et al., 2014). En general, se espera que la manufactura aditiva se convierta en una tecnología de fabricación clave en la sociedad sostenible del futuro "(Huang et al., 2013, p.1201).

### **Metodología de desarrollo**

La eco-innovación es el desarrollo y la aplicación de un modelo de negocio delineado por una estrategia, que incorpora la sostenibilidad en todas las operaciones comerciales basadas en el concepto del ciclo de vida y en cooperación con socios de toda la cadena de valor. Implica un conjunto coordinado de modificaciones o nuevas soluciones a los productos (bienes/servicios), procesos, enfoque de mercado y estructura organizativa que conducen a un mejor rendimiento y a la competitividad de una empresa. (Osterwalder et al, 2005).

Para la realización de este proyecto se toma en cuenta tres parámetros principales a) el diseño y desarrollo del concepto de extrusora, b) Aplicación de las herramientas de eco diseño y eco innovación, las cuales implican herramientas tecnológicas como es la plataforma de materiales de Granta design, los módulos de sustentabilidad de Solidworks para determinar la huella del carbono y el impacto energético en los procesos de fabricación, así como el material en este caso el polipropileno reciclado que para su recolección se disminuyen los subprocesos de acopio. Como lo muestra la figura 3.



**Figura 2. Proceso de eco innovación en el diseño.**

### **Características del polipropileno de residuos artesanales.**

Como se mencionó anteriormente en esta investigación la cantidad de residuos desechada por los artesanos de diferentes regiones de la mixteca es de 500 kg semanales, por lo que la capacidad de producción estimada de la extrusora para procesar dicha cantidad de material es de 12.5 kg/h. se realizó un análisis de las condiciones físicas del material se concluye que las fibras sintéticas llegan limpias sin algún otro elemento extraño, bajo las siguientes condiciones:

1. La materia prima (fibras sintéticas nuevas) llega a los artesanos en buenas condiciones.
2. Los artesanos protegen su trabajo contra contaminantes durante el proceso de elaboración.
3. En la etapa de recorte de fibras sintéticas, estas se almacenan por separado de otros residuos domésticos.

La recolecta tendrá una tendencia a que el 85% aproximadamente sea de fibra regular y el 15% restante entre fibra charrito y de rollo. Se estima que cerca del 70% de fibra recolectada se presenta en múltiples colores así como su longitud varía entre 2 mm. y 150 mm. El polipropileno tiene la capacidad de reprocesarse de 4 a 5 ciclos, en los que sus propiedades originales se mantienen durante los primeros ciclos, reduciendo principalmente la rigidez, viscosidad y peso molecular, con un aumento en el índice de fluidez por cada nuevo proceso

**Tabla 2 Comparación de propiedades del PP virgen Vs. Reciclado. Fuente: (Instituto Mexicano del Plástico, 2000d).**

Propiedad	Homopolímero	
	Virgen	Regranulado una vez
Tensión a la Ruptura kg/cm <sup>2</sup>	314	267
Módulo de Flexion kg/cm <sup>2</sup>	19,543	19,614
Impacto Izod kg cm / cm	3.26	2.72
HDT @ 4.6 kg/cm <sup>2</sup> /°C	100	105

Para el polipropileno, según el INSHT (Instituto Nacional de seguridad e Higiene en el Trabajo) los datos de degradación térmica son los siguientes: temperatura de degradación es de 200°C y los productos emitidos en su mayoría son compuestos de:

- Hidrocarburos C2-C12 (mayoritariamente saturados)
- Acetona y metiletilcetona
- Formaldehído, acetaldehído, acroleína.
- Ácidos acético y crotónico
- Dióxido de carbono.
- Gases y productos volátiles (volatilización y descomposición de aditivos)

Los humos de PP emitidos en degradación térmica son biológicamente activos, gases y vapores tóxicos e irritantes.

### **Pruebas de fundición y residuos contaminantes**

Mediante una inyectora de plásticos vertical y cierre tipo rodillera marca ARSA 80 de fabricación nacional se realizó una prueba de inyección de material reciclado con diferentes pigmentos, con el fin de ver el comportamiento durante la fundición. La inyectora se comporta de la misma forma que una extrusora al utilizar un tornillo sin fin dentro de un barril calentado por resistencias, a diferencia de la extrusora una inyectora no tiene flujo

continuo de material. En la prueba realizada se pudo constatar que el material fluye de manera consistente entre los 250°C y 300°C.

Debido a que los materiales utilizados para la impresión 3D difieren principalmente en su punto de fusión, influyendo significativamente en las propiedades del proceso de impresión. Los filamentos se funden en el cabezal de impresión durante la creación de la pieza, en un rango de temperaturas que va desde los 150 °C hasta los 250 °C dependiendo de la tecnología utilizada, así mismo, se elige la temperatura óptima para el sustrato refrigerante en que se realiza la impresión de manera que se asegure un enfriamiento y una deformación óptima, generalmente entre 40 y 100 °C.

Ambas temperaturas pueden afectar significativamente las propiedades del objeto 3D, por lo tanto, es importante determinar los parámetros térmicos (conductividad térmica, calor específico y difusividad térmica) de los materiales (Trnik y Medved, 2016).

### Conceptualización

Debido a que varias de las dimensiones del extrusor no se conocían en la primera conceptualización, solo se dieron propuestas de configuraciones para localizar a los sistemas. En cambio, ya calculados los componentes principales del sistema se realizó una segunda etapa de conceptualización, en la que los componentes se dibujaron a escala real, con el fin de visualizar la interacción entre todos los sistemas y las dimensiones generales de la máquina (Figura 5).

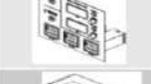
Unidades	No. de componentes	Fin de ciclo ideal	Material	Manufactura
	27	Reciclaje Desmontaje Uniones móviles Re uso	Acero inoxidable Lamina Galvanizada Aluminio Acero al carbón  Masa: 2.780 grs.	Fresado Barrenado Dobles y corte
	27	Reciclaje Desmontaje Uniones móviles Re uso	Acero inoxidable Lamina Galvanizada Aluminio Acero al carbón Composites Masa: 490 grs.	Fresado Barrenado Dobles y corte pegado
	9	Reciclaje Desmontaje Uniones móviles Re uso	ABS A17B24A3 SAE 1018 PEB4B2G1 Acero al carbón  Masa: 990 grs.	Inyección de plástico Barrenado Dobles y corte pegado
	7	Reciclaje Desmontaje Uniones móviles Re uso	Composite Lamina ABS  Masa: 1400grs.	Reciclaje Desmontaje Uniones móviles Re uso
	18	Reciclaje Desmontable Re uso	Lamina inoxidable Acero al carbon ABS Aluminio	Reciclaje Desmontaje Uniones móviles Re uso

Figura 3. Unidades de la extrusora seleccionadas para aplicación de los conceptos.

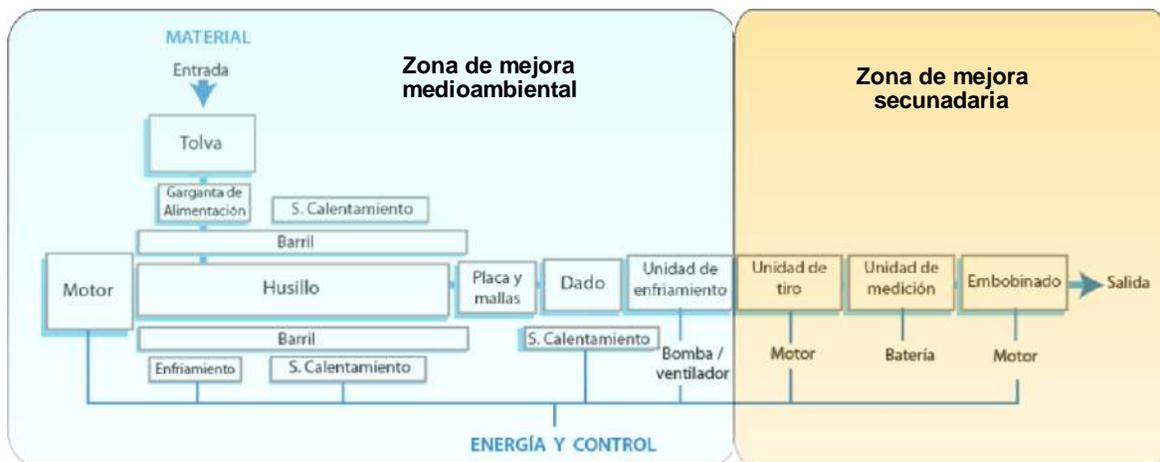
### Selección de la Unidad de Calentamiento.

Para la aplicación de los conceptos de ingeniería ecológicos y de eco innovación este proyecto se centró en el área de la zona de calentamiento que en su conjunto se le conoce como unidad de extrusión o zona de fundición del material, existe un mayor gasto energético debido a que tiene que alcanzar una temperatura constante entre 200°C y 250° para que el material pase de un estado sólido a un estado viscoso para que pueda fluir y ser empujado al borde donde se encuentra el dado que dará forma al polipropileno para convertirlo en filamento. Para determinar las zonas de calentamiento se consideran las 3 zonas del husillo y el dado:

- Zona de alimentación
- Zona de compresión
- Zona de dosificación
- Zona del dado

De las cuales, las 3 últimas requieren la aplicación de calor por lo menos al inicio de la producción

y teniendo la necesidad del control de la temperatura alcanzada en las zonas para evitar la degradación del material por exceso de temperatura o una fundición deficiente por bajas temperaturas en el proceso. Debido a que la longitud del extrusor es relativamente pequeña las zonas de compresión y dosificación serán calentadas por una misma resistencia de banda. Mientras que para el dado se propone una banda extra, que tendrá la función de aumentar ligeramente la temperatura del perfil en caso de presentar inestabilidades de extrusión.



**Figura 4. Gráfico de oportunidad de mejora aplicando conceptos de eco innovación y sustentabilidad.**

### Temperaturas del sistema

El perfil de temperatura de las zonas de la extrusora debe de ser tipo “joroba” (humped) que permite un mejor procesamiento. Esto es que la primera zona debe estar caliente a una temperatura por debajo de las otras zonas; la segunda zona debe estar muy caliente para fundir el material rápidamente y disminuir el desgaste del tornillo por fricción y calor de cizallamiento; luego cada zona que sigue debe estar más fría en forma progresiva; hasta que la última zona esté relativamente fría (Mariano, 2011).

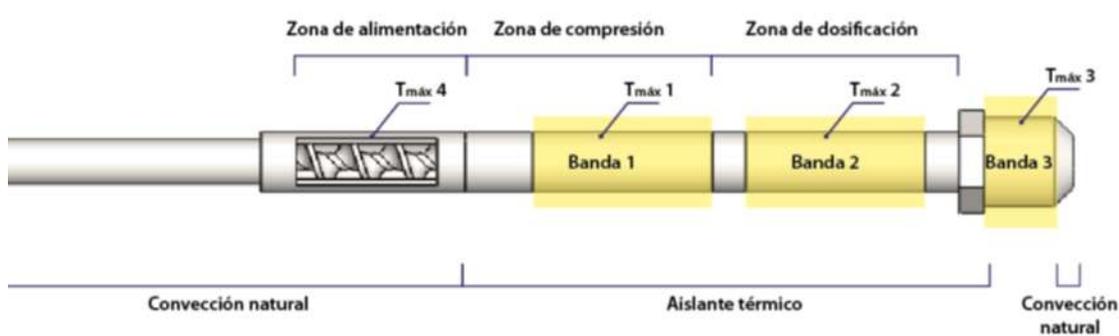
Considerando lo anterior, se muestra la Tabla 3 con los parámetros de temperatura basados en los requerimientos de procesamiento del material.

**Tabla 3 Perfil de temperaturas Polipropileno. Fuente: Elaboración propia.**

Temperaturas	Zona alimentación	Zona de compresión	Zona de dosificación	Dado
Mínima	140 °C	200 °C	180 °C	180 °C
Ideal	170 °C	230 °C	210 °C	210 °C
Máxima	200 °C	260 °C	240 °C	240

### Calculo de bandas de temperatura idónea (Secciones) del Husillo

Para los siguientes cálculos se desprecia el calor viscoso generado por el proceso de extrusión, considerando únicamente el calor generado por las dos resistencias tipo banda propuestas en la Figura 7. El aumento de la temperatura del sistema es de  $T1 = 20^{\circ}C$  correspondiente a la temperatura del ambiente hasta una temperatura máxima,  $T2 = 260^{\circ}C$ .



**Figura 5. Distribución del sistema de calentamiento. Fuente: Elaboración propia.**

### Análisis térmico del sistema

Con el fin de determinar el ancho de la banda y corroborar los datos antes calculados, se realizó un análisis el análisis se hizo en una sola pieza para la facilidad de la distribución térmica, se aplicó a todo el conjunto de Husillo-Barril-Dado, el material de acero ASME 4140 con las siguientes características tabla 3.

**Tabla 4 Especificaciones acero ASME 4140. Fuente: (Cengel y Ghajar, 2011).**

Propiedades	Valor	Unidades
Densidad de masa	7850	$kg/m^3$
Conductividad térmica	42.4	$W/m K$
Calor específico	442	$J/kgK$

También se consideraron diferentes condiciones de trabajo, para poder visualizar el comportamiento de las diferentes zonas de calentamiento tabla 5.

**Tabla 5. Condiciones del análisis térmico transitorio Fuente: Elaboración propia.**

Cargas térmicas	Tipo	Descripción
Potencia calorífica	Resistencia de banda 1 Barril	Energía térmica: 75 W Diámetro interno: 1.71 cm Ancho: 2"
	Resistencia de banda 2 Barril	Energía térmica: 75 W Diámetro interno: 1.71 cm Ancho: 2"
	Resistencia de banda 3 Dado	Energía térmica: 50 W Diámetro interno: 1" Ancho: 20 mm
Convección	Disipación de calor en aire	Coefficiente de convección: $5 \text{ W/m}^2 \text{ K}$ (Cengel et al., 2011) Temp. Ambiente: 20°C
Flujo de calor	Disipación de calor en aislante	Flujo de calor permisible por el aislante: $1375 \text{ W/m}^2$ (11 W en $L = 15 \text{ cm}$ )

*Nota: La potencia total de 150W, se dividió en las dos bandas.*

Poniendo en funcionamiento cada una de las resistencias de forma independiente (Figura 8), se puede visualizar cómo se expande el calor de cada una de ellas, mostrando el control de las temperaturas en cada una de las zonas estratégicas de compresión, dosificación y en el dado.

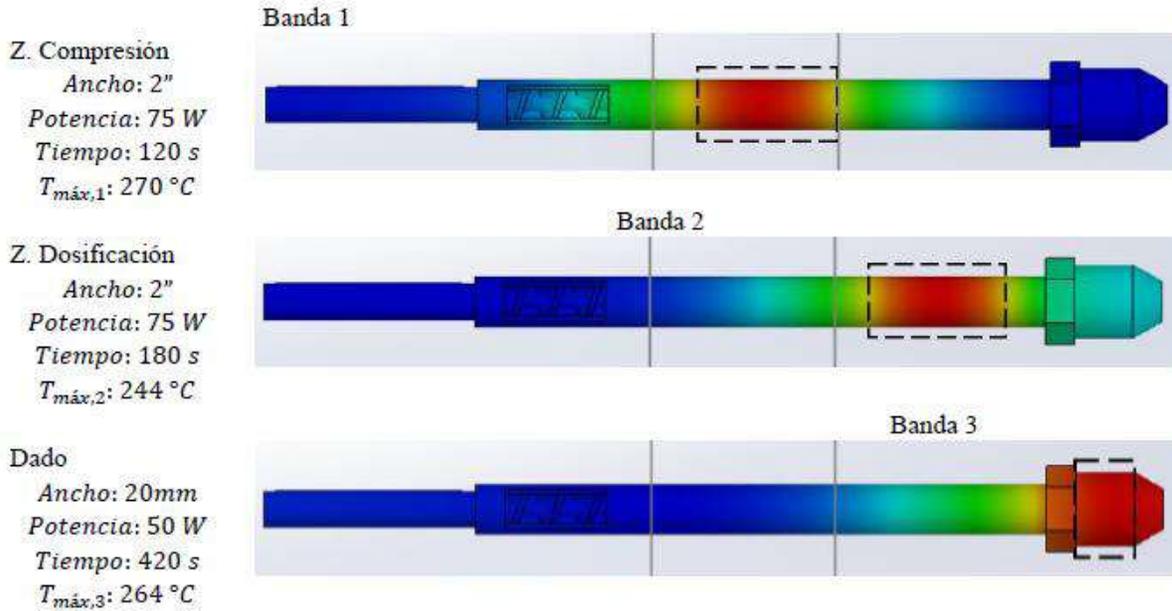


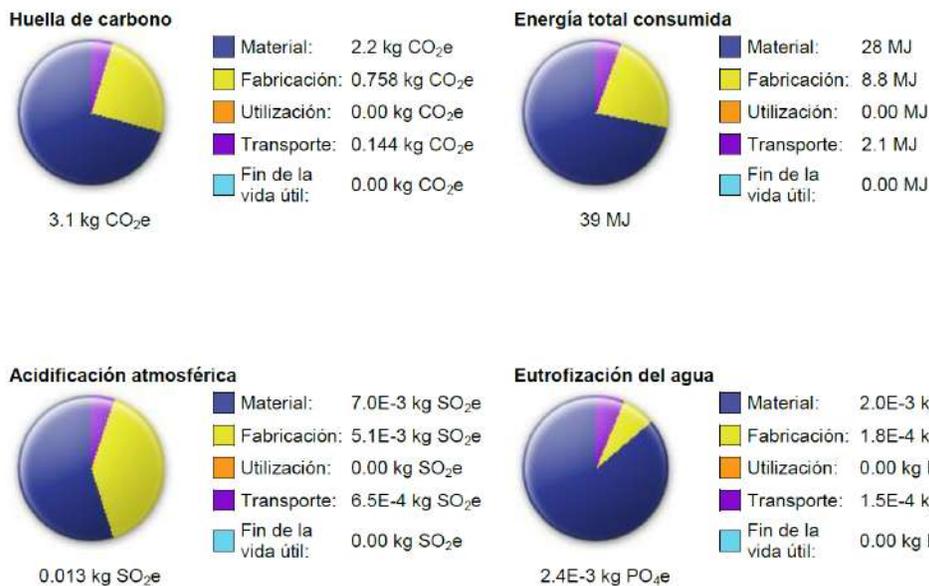
Figura 6. Funcionamiento de resistencias de forma independiente.

### Reporte de sustentabilidad para la fabricación de barril y husillo.

Para poder hacer la evaluación de las piezas, el software (Solidworks) requiere parámetros alusivos a las piezas mecánicas, éstos son la entrada de datos para la obtención de factores de impacto (evaluación de sustentabilidad) en las piezas modeladas. Se llevará a cabo el análisis de sustentabilidad en este caso solo se reporta en este documento el usillo y el barril que integran las zonas de calentamiento, el material es acero **acero ASME 4140** la pieza es realizada en México. En la investigación realizada para obtener datos referentes a las piezas del usillo se ajustaron algunas características de fabricación.

- **Región de fabricación**  
 La elección de la región de fabricación determina los recursos energéticos y las tecnologías utilizadas en la creación de materiales y las etapas de fabricación del ciclo de vida del producto.
  
- **Región de utilización**  
 Se utiliza para determinar los recursos energéticos consumidos durante la fase de utilización del producto, si procede, y el destino del producto al alcanzar el final de su vida útil. Junto con la región de fabricación, la región de utilización también se utiliza para calcular los impactos medioambientales asociados con el transporte del producto desde su lugar de fabricación al de utilización.

**Figura 7. Diseño de la pieza en 3D y región de fabricación y utilización.**



**Figura 8. Impacto medioambiental (calculado mediante la metodología de evaluación de impacto CML).**

**Tabla 6. Impacto medio ambiental pro componente.**

Componente	Carbono	Agua	Aire	Energía
a_Barril	0.554	4.1E-4	2.4E-3	6.7
a_Husillo	0.376	2.8E-4	1.6E-3	4.6
a_Dado	0.364	2.8E-4	1.6E-3	4.5
a_Opresor M8-125 _ 8	6.7E-3	4.9E-6	3.0E-5	0.079
a_Opresor M5-08 _ 6	2.8E-3	2.0E-6	1.3E-5	0.032

## Interpretación de los resultados

### a) Gráfica de resultados de factor de impacto huella de carbono

Como se observa las partes que generan mayores emisiones son el barril de acero inoxidable (0.554 KgCO<sub>2</sub>), el husillo (0.376 KgCO<sub>2</sub>) y el dado (0.364 KgCO<sub>2</sub>), que en su totalidad dan un ( 2.2 KgCO<sub>2</sub>) que es un promedio muy bajo y a lo largo de la vida útil de la pieza este valor se ve incrementado ya que al tratarse de un material reciclable el consumo energético para volverlo a desintegrar pero también es un hecho que el transporte vehicular incrementa el impacto medioambiental en este caso es poca la emisión ya que la distancia que se promedio es de 500Km máximo. Ya que la pieza se produce en la región.

### b) Gráfica de resultados de factor de impacto energía consumida.

En este dato la pieza del barril consume (6.7 MJ) el husillo (4.6 MJ) y el dado (4.5 MJ) para este caso el barril de acero consume cerca del 40% de la energía total, seguidos del husillo y el dado los demás componentes no se han graficado por su falta de contribución. La etapa en la que se consume mayor energía es en la fase del mecanizado de la pieza, así también, en la fase de fabricación sobresalen los dos componentes mencionados al comienzo del párrafo anterior.

### c) Gráfica de resultados de factor de impacto acidificación atmosférica.

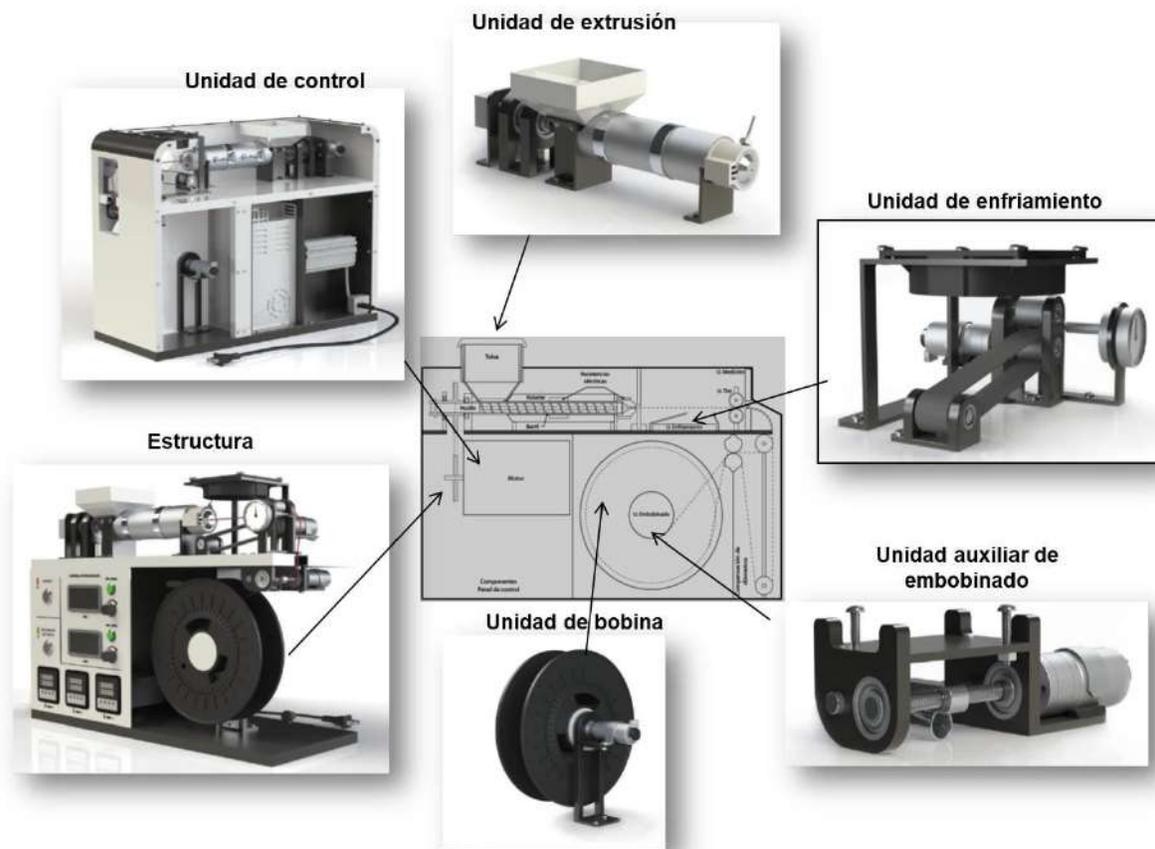
Como se aprecia de la gráfica, las piezas que producen mayor daño son los que se han venido manejando en todas las demás gráficas, el material (7.0E-3 kg SO<sub>2</sub>e), el proceso de fabricación (5.1E-3 kg SO<sub>2</sub>e), y el transporte (6.5E-4 kg SO<sub>2</sub>e) para un total de 0.013 kg SO<sub>2</sub>e. Cabe destacar que la selección del material comienza a tomar un poco más de protagonismo ya que en el caso de la fabricación del husillo y el barril de arrastre aportan casi el 70% para el caso del transporte 30% .

### d) Grafica de resultados de factor de impacto eutrofización del agua

En este factor de impacto, el barril barre con todos los demás componentes, al aportar el 50% del total de emisiones ( $4.1E-4$  KgPO<sub>4</sub>), le sigue el husillo con aproximadamente el 25% del total, lo restante del porcentaje se divide entre el dado y otros componentes, con un 10% para cada uno, los demás componentes prácticamente no aportan para este caso. La fase en la cual se percibe el mayor daño es en la fase de selección del material.

#### Diseño final integrado de extrusora de filamento para impresora 3D

Para la integración y diseño de todos los componentes se realizaron consultas a personas expertas en otras áreas acerca del funcionamiento del sistema en general, lo que ayudó en la retroalimentación y refinamiento de los componentes. Cabe mencionar, que un prototipo 3D precede a un prototipo funcional, por lo que se tiene el aporte de evaluaciones a través de estudios térmicos (sistema de calentamiento) y comprobación de las geometrías de las piezas y ensambles, así como el estudio de sustentabilidad a la unidad de extrusión lo cual que permitió detectar errores geométricos y de interacción de elementos antes de su construcción, representando un ahorro de tiempo y dinero. También se fijó la postura de tomar el ciclo de vida del producto partiendo de que el material que se utilizara es de residuos de artesanos.



**Figura 9. Integración de los componentes diseñados de extrusora de filamento.**

### Conclusiones

La importancia de la evaluación de los componentes recae en proponer mejores productos que generen menores impactos, obteniendo un mejor ambiente y un uso más racional de los recursos, no agotándolos totalmente ni poniéndolos en riesgo para que puedan ser utilizados por futuras generaciones, Este proyecto surge de la necesidad de ayudar a los artesanos en generar propuestas de alto impacto para aprovechar sus residuos, a través de un producto de demanda tecnológica y a su vez tomar en cuenta la importancia de una evaluación de sustentabilidad en la etapa de conceptualización para poder llevar un nuevo producto al mercado que cumpla con normas medioambientales , traducido a fases del ciclo de vida, ahorrará el dinero invertido en la manufactura, embalaje, transporte y puesta en venta del producto.

### Bibliografía.

1. Álvaro González, H. Mesa G, D. La importancia del método en la selección de materiales, *Scientia et Technica* Año X, No 24, Mayo 2004. UTP. ISSN 0122-1701.
2. Análisis de ciclo de vida (ACV), Deloitte, Boletín sustentabilidad, noviembre 2012.
3. Ashby, M. Introducción a CES EduPack 2012 (2012), Department of Engineering, University of Cambridge. Astier, M. R. Masera, O. Yankuic Galván-Miyoshi. Evaluación de sustentabilidad. Un enfoque dinámico y multidimensional, 1ed (2008). ISBN 978-84-612-5641-9.
4. Barrow, M. Buckley, B. Caldicott, T. Cumberlege, T. Hsu, J. Kaufman, S. Ramm, K. Rich, D. Temple-Smith, W. Greenhouse gas protocol, Technical Guidance for Calculating Scope 3 Emissions (v1.0).
5. C. Bare, J. Developing a Consistent Decision-Making Framework by Using the U.S. EPA's TRACI, Systems Analysis Branch, Sustainable Technology Division, National Risk Management, Research Laboratory, US Environmental Protection Agency, Cincinnati, OH.
6. Cepeda, F. Fernando, P. Rossin, A. Acurio, G. Diagnóstico de la situación del manejo de residuos sólidos municipales en América Latina (1997).
7. Chambouleyron, M. Arena, A. P. Pattini, A. Diseño de productos y desarrollo sustentable, estrategias de revalorización de productos manufacturados para su introducción en un nuevo ciclo de vida. LAHV (Laboratorio de Ambiente Humano y Vivienda) INCIHUSA (Instituto de Ciencias Humanas y Sociales) Mendoza-Argentina.
8. Al-Zamil & Brothers Company. (2004). *Pre-feasibility study for PDH/ACN/PP complex*, Volumen I: Al-Zamil & Brothers Company Beltrán M. y Marcilla A. (2012). *Tecnología de polímeros*. España: Universidad de Alicante. Servicio de publicaciones.
9. Cengel Y. A. y Cimbala J. M. (2012). *Mecánica de fluidos. Fundamentos y aplicaciones*. México: 1McGraw Hill Cengel Y. A. y Ghajar A. J. (2011). *Transferencia de calor*. México: McGraw Hill.
10. Chapra S. C. y Canale R. P. (2017). *Métodos numéricos para ingenieros*. 5ta Edición. México: McGraw Hill.
11. Instituto Mexicano del Plástico Industrial. (2000b). Extrusión. En la (Ed.2), Enciclopedia del plástico. (Edición 2, Volumen 2, pp. 323-397). México D.F.: GRUPO PINE



## **2.2.6 Desarrollo de software para ecodiseño: dos casos de estudio del Instituto De Ingeniería, UNAM**

### **M.I. Dora Yesenia Ruiz Méndez**

Es maestra en Ingeniería Ambiental por la UNAM. Actualmente desarrolla estudios de post.-maestría en el Instituto de Ingeniería de la UNAM participando en proyectos de evaluación de energías renovables, análisis de ciclo de vida, análisis de ciclo de vida organizacional y desarrollo de software.

### **Dra. Leonor Patricia Güereca Hernández**

Es Doctora en Ingeniería Ambiental por la Universidad Politécnica de Cataluña, Investigadora Titular del Instituto de Ingeniería de la UNAM. Miembro del Sistema Nacional de Investigadores, Presidenta fundadora de la Red Mexicana de Análisis de Ciclo de Vida A.C. y Presidenta de Asociación Mexicana de Ingeniería, Ciencia y Gestión Ambiental (AMICA).

**Dirección:** Circuito Escolar S/N Instituto de, Ingeniería, Ciudad Universitaria, 04510 Ciudad de México, CDMX. Tel: +52 (55) 56233600 x 8709

**Email:** [DRuizM@ingen.unam.mx](mailto:DRuizM@ingen.unam.mx)

### **RESUMEN**

En este trabajo se abordan dos esfuerzos realizados por el Instituto de Ingeniería de la UNAM para apoyar la toma de decisiones ambientalmente responsables empleando el enfoque de ciclo de vida. El primero de los aportes es el software "EcoCasa". Este proyecto, tenía como objetivo transformar el sector de la vivienda social de México incorporando medidas que redujeran al menos 20% las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI). Para lograrlo, el Instituto de Ingeniería estimó la huella de carbono mediante un enfoque de Análisis de Ciclo de Vida para los 12 sistemas de construcción más empleadas en la edificación de EcoCasas. Se evaluó la huella de carbono desde la extracción de las materias primas necesarias para la fabricación de los materiales y de los sistemas de construcción, tomando en cuenta la producción distribución y construcción en el área en donde utilizaría, considerando todos los flujos entrantes y salientes en cada uno de los procesos unitarios; lo que permitió determinar los impactos que la estos sistemas constructivos ejercen sobre el medio ambiente en materia de cambio climático. Para facilitar el entendimiento y la visualización de los resultados de este proyecto, se programó una herramienta de cálculo que permitió modelar y comparar las emisiones de CO2 eq de diferentes sistemas constructivos y mediante gráficas apoyar a la toma de decisiones. El

segundo aporte es la metodología “MARCO” que propone una manera rápida de evaluar impactos ambientales de productos empleando el enfoque de ciclo de vida. Esta metodología está orientada a organizaciones y tiene el valor adicional de que como resultado se tiene la posibilidad de programar un software que apoya la toma de decisiones con enfoque de ciclo de vida y que puede ser aplicado a cualquier organización. Ambos ejemplos son resultado de esfuerzos para orientar al país en el cumplimiento del objetivo número 12 de la agenda de desarrollo sostenible enfocado en la producción y el consumo responsable y son un ejemplo de cómo lograr la interfaz entre la teoría del ecodiseño y el desarrollo sustentable.

**PALABRAS CLAVE:** Software, Análisis de Ciclo de Vida, Huella de carbono, Sistemas constructivos, Organizaciones

## INTRODUCCIÓN

La producción de bienes y servicios conlleva le generación de impactos ambientales, a pesar de que éstos son necesarios para el desarrollo humano. El reto está, por lo tanto, en disminuir los impactos potenciales de los productos para así lograr armonía con el medio ambiente. De esta manera, en 2015, Naciones Unidas anunció las Metas del Desarrollo Sostenible, dentro de las cuales, la el Objetivo 12 se enfoca en promover patrones de consumo y producción responsable. Asimismo, dentro de la agenda nacional de medio ambiente, destaca la publicación de la Estrategia Nacional de Producción y consumo Responsable, la cual establece las bases para que diferentes actores sociales orienten sus actividades hacia el desarrollo sustentable.

Una metodología aceptada internacionalmente para la evaluación ambiental de productos y servicios es el Análisis de Ciclo de Vida (ACV), validada por la ISO 14040 y 14044 (ISO, 2006), la cual tiene una visión holística, abarcando todas las etapas de ciclo de vida de los productos.

Uno de los retos que presenta la aplicación de la metodología es la necesidad de recursos que pueden retrasar su aplicación y desarrollo, tales como: recursos humanos capacitados en el método, tiempo para la recolección de datos, recursos financieros para el uso de software y bases de datos especializadas, entre otros. Por lo tanto, se ha planteado la posibilidad de generar herramientas computacionales capaces de acelerar la obtención de resultados con enfoque de ciclo de vida que apoyen la toma de decisiones ambientalmente responsables. Algunos ejemplos de trabajos orientados a la aceleración de resultados de ciclo de vida se encuentran en temas como las declaraciones ambientales de producto (Fet & Skaar, 2006) el diseño de productos y de empaques (Verghese et al., 2010).

En el presente trabajo se discutirán los acercamientos que el Instituto de Ingeniería de la UNAM (II-UNAM) ha tenido hacia el desarrollo de herramientas que permiten la toma de decisiones considerando el enfoque de ciclo de vida. Se discutirán dos proyectos de gran impacto en el que se ha tenido colaboración: *Ecocasa*, enfocado en la selección de materiales de construcción y *MARCO*, una metodología enfocada a la evaluación ambiental de productos dentro de organizaciones.

## **OBJETIVOS**

El presente trabajo tiene como objetivo discutir los esfuerzos de una institución educativa mexicana hacia el cumplimiento del Objetivo de Desarrollo Sostenible 12 y de la agenda nacional de desarrollo sustentable, mediante dos proyectos que contemplan el análisis de ciclo de vida como eje. Como resultado se espera destacar las fortalezas, debilidades y oportunidades de mejora de ambos proyectos.

## **METODOLOGÍA**

La metodología consiste en las siguientes tres etapas:

1. Describir ambos proyectos,
2. Describir sus aspectos técnicos, considerando las etapas del ACV y decisiones metodológicas particulares;
3. Describir los desarrollos tecnológicos (software) de ambos proyectos

### **ECOCASA**

- Descripción del proyecto

Este proyecto evaluó la huella de carbono de doce sistemas constructivos considerando el enfoque de análisis de ciclo de vida, con el objetivo de transformar el sector de la vivienda social de México tratando de incorporar medidas que reduzcan al menos 20% las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI). El Banco Interamericano de Desarrollo solicitó al II-UNAM estimar, la Huella de Carbono, mediante un enfoque de ACV, para 12 de los sistemas de construcción más utilizados en la edificación de EcoCasas.

La Huella de Carbono (HC) adopta un enfoque de ACV cuando considera las emisiones GEI generadas a lo largo de toda la cadena de valor; desde la obtención de las materias primas y tomando en cuenta todos los flujos de entradas y salidas en cada uno de los procesos unitarios. En este trabajo, la Huella de Carbono se cuantificó desde la extracción de las materias primas necesarias para la fabricación de los materiales y de los sistemas de construcción, tomando en cuenta la producción distribución y construcción del sistema constructivo en el área en donde se iba a utilizar, considerando todos los flujos entrantes y salidas en cada uno de los procesos unitarios; lo que permitió determinar los impactos que la producción de estos sistemas constructivos ejercen sobre el medio ambiente en materia de cambio climático.

Se partió de la idea de que una correcta selección de los materiales con los que se construye una edificación puede ser detonante para la disminución de los impactos

generados en las etapas de vida de una vivienda principalmente en las etapas previas al uso, construcción y uso, por lo cual la evaluación de la huella de carbono de los materiales de construcción es una herramienta estratégica para mitigar el impacto en Cambio Climático.

- Descripción técnica

El ACV se estandariza por la Norma ISO 14040 y 14044 (ISO, 2006) y consiste en determinar los impactos ambientales de un producto o servicio, compilando un inventario de las entradas y salidas relevantes al sistema (agua, luz, combustible, entre otras), e interpretando los resultados de las fases del inventario e impacto con relación a los objetivos del estudio. Permite identificar áreas de mejora en el proceso de producción o en los procesos asociados al ciclo de vida. Es una metodología que permite la evaluación objetiva de la Huella de Carbono y que se conforma por las etapas de la Figura 1.



Figura 1. Etapas del análisis de ciclo de vida (ISO, 2006)

Para la evaluación de impactos se empleó el software de ciclo de vida OpenLCA versión 1.4.2.

Los datos provenían de proveedores, adicionalmente se tomó información de publicaciones especializadas y científicas. El inventario de materiales fue revisado y normalizado estableciendo una unidad funcional de 1 kilogramo de cada material. El inventario fue ingresado y modelado en el software empleando la metodología de evaluación de impactos CML 2001. Con base en esto se creó un inventario de sistemas constructivos.

Para poder realizar las comparaciones entre el sistema constructivo EcoCasa y el sistema constructivo tradicional mexicano se estableció una línea base, basándose en lo establecido en el Documento NAMA de Vivienda Sustentable (CONAVI 2011), para cada uno de los once sistemas constructivos utilizando un inventario de ACV realizado durante el año 2014 por el Centro Mario Molina (CMM) y mediante una herramienta computacional se pueden obtener los impactos de cada sistema con relación a los de la línea base ya con el transporte al lugar en donde será construida la EcoCasa (II-UNAM, 2016).

- Desarrollo tecnológico

Con la finalidad de visualizar los resultados del proyecto, una vez obtenidos las huellas de carbono mediante el software OPEN LCA se desarrolló una herramienta de cálculo. Ésta consiste en un entorno visual de programación desarrollado en Visual Studio 2015 mediante el entorno de programación visual Basic.

La herramienta (Fig. 2) proporciona una serie de opciones para comparar los sistemas constructivos entre sí. Estas comparaciones (línea base vs EcoCasa) se realizan entre los muros, losas y ventanas, aunque también es posible calcular combinaciones de estas, esto es, muros y losa, losas y ventanas o los tres sistemas constructivos al mismo tiempo. Además, es posible modificar los metros cuadrados que se comparan y añadir las distancias a donde se construirán los sistemas constructivos. El resultado final (Fig. 3) es una gráfica donde se compara las emisiones de dióxido de carbono equivalente producidos por los sistemas seleccionados y multiplicados por los m<sup>2</sup> requeridos, además de sumar las emisiones por transporte de materiales.

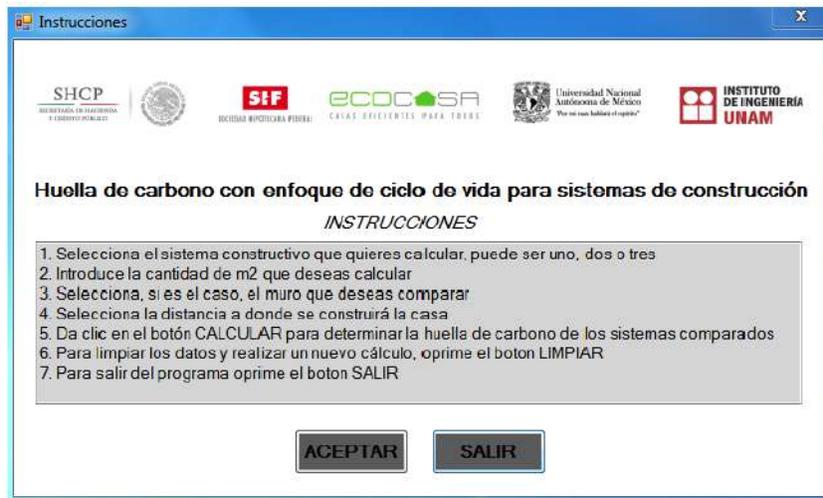


Figura 2. Pantalla de inicio Herramienta EcoCasa

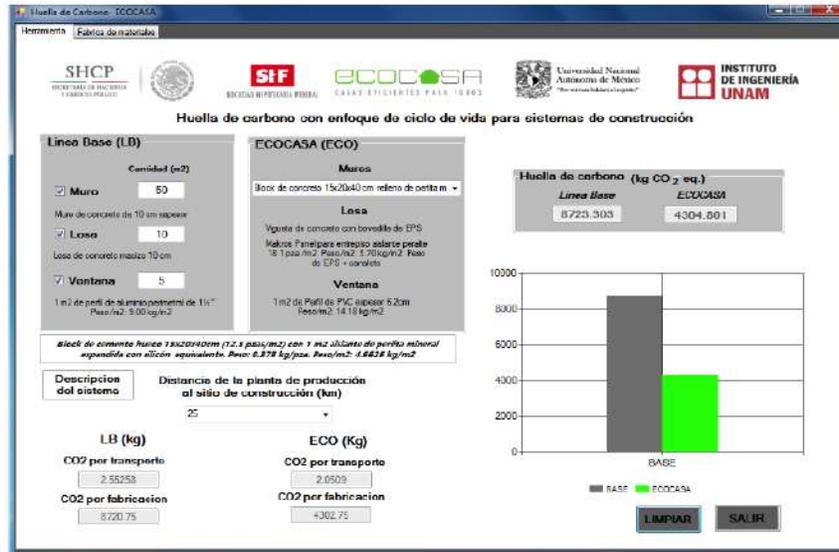


Figura 3. Pantalla con resultados EcoCasa

Como se puede observar en la Figura 2 y Figura 3, el software es amigable y funciona a través de instrucciones sencillas y precisas que permiten calcular el impacto en cambio climático de la línea base de muro, losa y ventana, así como los sistemas seleccionados por EcoCasa. Existe una descripción de estos sistemas y también puede seleccionarse la distancia hacia el lugar de implementación de la EcoCasa. En la parte inferior se pueden apreciar los kg de CO<sub>2</sub> eq relacionados con el transporte y aquellos referentes al proceso de fabricación tanto para la línea base (LB) como para la EcoCasa (ECO) los cuales sumados y graficados se presentan en la zona derecha de la pantalla del software. En el ejemplo mostrado en la Figura 3, se seleccionan como línea base 50 m<sup>2</sup> de Muro de concreto macizo de 10 cm de espesor, 10 m<sup>2</sup> de losa de concreto macizo de 10 cm de espesor y 5 m<sup>2</sup> de ventana de aluminio con vidrio de 3 mm de espesor frente a 50 m<sup>2</sup> de Muro de block hueco con perlita mineral expandida con silicón, 10 m<sup>2</sup> de losa de vigueta de concreto y bovedilla de EPS y 5 m<sup>2</sup> de ventana de PVC con vidrio de 6 mm de espesor. En la parte de distancia al sitio de construcción se seleccionaron 25 km. Al realizar el cálculo se obtiene que la Línea Base posee unos impactos de 8723.303 kg de CO<sub>2</sub> eq y la EcoCasa impacta en menos del 50% con un total de emisiones de 4304.801 kg de CO<sub>2</sub> eq.

### MARCO

- Descripción del proyecto

La metodología MARCO: Metodología de ACV Rápido para la Comparación de impacto ambiental para Organizaciones fue creada por la necesidad de brindar una metodología capaz de generar impactos con enfoque de ciclo de vida en un corto tiempo a tomadores de decisiones dentro de organizaciones.

- Descripción técnica

Las decisiones metodológicas fueron hechas basadas en la metodología de la ISO 14040 y 14044 donde el objetivo se planteó como evaluar los impactos ambientales generados por la adquisición de insumos en una organización. Se trabajó con la unidad funcional de un kilogramo de producto adquirido hasta la puerta de la organización. Para la evaluación de impactos se utilizó el método ReCiPe v1.08, el cual cuantifica el impacto de ciclo de vida de las intervenciones al ambiente. El método se basa en el cálculo de factores de caracterización, los cuales convierten los resultados del análisis del inventario a la unidad común de una categoría de impacto (Ruiz-Méndez, 2017).

Las categorías de impacto seleccionadas fueron 4: cambio climático, acidificación terrestre, eutrofización de agua dulce y formación de oxidantes fotoquímicos. Esta selección se debe a que son las cuatro categorías de impacto básicas que cualquier estudio de ACV debe evaluar de acuerdo con las reglas del EPD System de declaraciones ambientales de producto.

- Desarrollo tecnológico

Finalmente, se planeó cómo se mostrará la herramienta al usuario (diseño de la interfaz). Inicialmente se planteó un guión gráfico, el cual debe mostrar la secuencia de pantallas a las que el usuario se verá expuesto. Esto tiene el propósito de pre-visualizar la estructura que tendrá la herramienta.

Los elementos de la herramienta son los siguientes:

- a) Pantalla de inicio. Se presenta el nombre particular otorgado a la herramienta (acordado entre la organización y el desarrollador) (Figura 4).



Figura 4. Pantalla de inicio de la herramienta

- b) Instrucciones sobre el ingreso de información. Aquí se seleccionará el insumo que la organización desee evaluar. Se observa un botón de información que proporcionará una guía breve sobre el insumo que se esté evaluando (Figura 5). En la parte inferior se seleccionará el número de insumos a evaluar. También se cuenta con botones para restaurar al estado inicial la herramienta y un botón para realizar los cálculos.

Pantalla 2

Instrucciones:

Seleccione el insumo a evaluar

Detergentes

Detergentes  
Tintes  
Papel  
Combustibles  
Placas  
Bolsas

Número de insumos a evaluar

2

Herramienta para la evaluación del impacto ambiental de insumos adquiridos por una organización v.1.0

Figura 5. Pantalla de selección de insumo

- c) Ingreso de la composición del insumo evaluado y del transporte. En esta sección se va a ingresar la cantidad de cada componente que integra al insumo. En la parte superior se despliegan los componentes encontrados en la base de datos (Figura 6). También se ingresará la distancia que viaja el producto y el medio (aéreo, terrestre o marítimo).

Pantalla 4

Detergente Perfo

Componente	Cantidad	Unidad
<i>Auxiliar</i>		
Carboximetil celulosa	<input type="text"/>	kg
Ácido sulfúrico	<input type="text"/>	kg
<i>Blanqueadores</i>		
Etilendiamina	<input type="text"/>	kg
Silicato de sodio	<input type="text"/>	kg
Percarbonato de sodio	<input type="text"/>	kg
<i>Fuente alcalina</i>		
Cloruro amónico	<input type="text"/>	kg
<i>Surfactantes</i>		
Aceite de alga	<input type="text"/>	kg
Alquibenceno sulfonato	<input type="text"/>	kg
<i>Suavizantes</i>		
Trifosfato de sodio	<input type="text"/>	kg
Alcohol etoxilado	<input type="text"/>	kg
<i>Enzimas</i>		
	<input type="text"/>	kg

Herramienta para la evaluación del impacto ambiental de insumos adquiridos por una organización v.1.0

Figura 6. Ingreso de composición

Posteriormente, se generan las gráficas de resultados mediante un algoritmo. Se observan impactos normalizados para las cuatro categorías de impacto seleccionadas para los dos insumos evaluados, divididos por etapa de ciclo de vida.

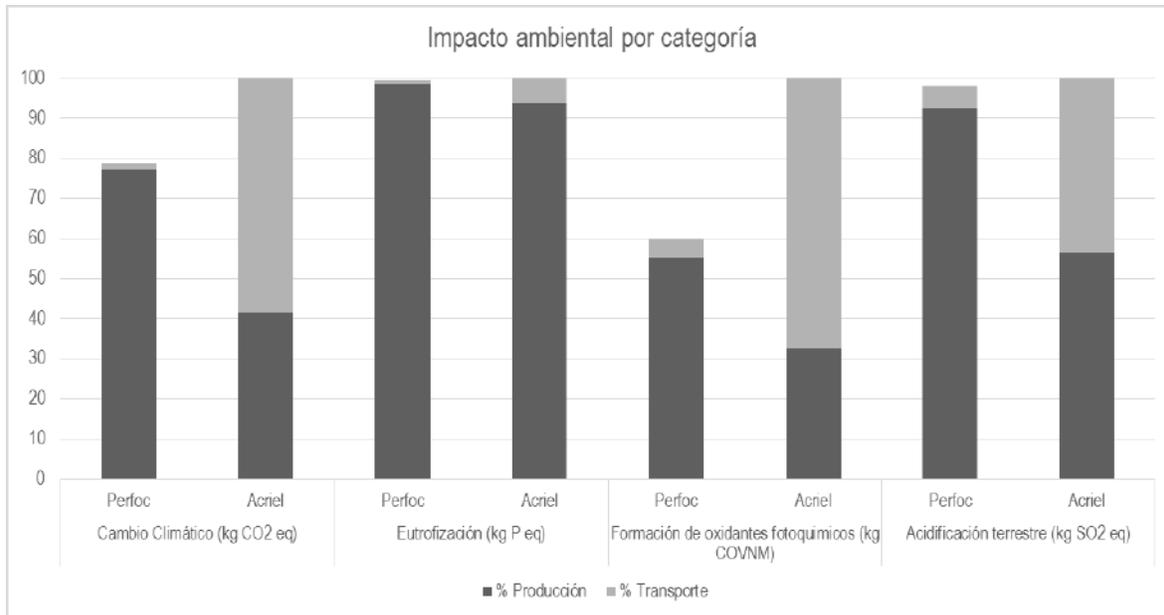


Figura 7. Ejemplo de gráfica de impacto ambiental por categoría

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos por ambas herramientas aportan en el tema de selección de productos, de la toma de decisiones informadas por parte de organizaciones. La herramienta Ecocasa, proporciona un panorama de los impactos por la construcción de un tipo de casa y a pesar de que solo considera una etapa de ciclo de vida (cambio climático), el fundamento que tiene es robusto y con gran soporte científico. Por otro lado, MARCO representa una base para futuros proyectos que puedan desarrollarse en el tema de desarrollo de software que apoye a la toma de decisiones con enfoque de ciclo de vida.

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El proceso de compra al interior de las organizaciones ha venido realizándose contemplando en la mayoría de los casos como único factor de decisión el económico, en vez de contemplar también los aspectos ambientales y/o sociales. Incluir estos aspectos haría de la actividad una más responsable y sustentable. Con este tipo de desarrollos se contribuye al objetivo 12 de la agenda de desarrollo sostenible en México. Ambos proyectos fueron desarrollados y aplicados exitosamente en México en el área de la construcción y de la toma de decisiones en organizaciones.

Se recomienda que el desarrollo y aplicación de este tipo de proyectos continúe, explorando aspectos como la ampliación de las categorías de impacto, de las etapas de ciclo de vida. Incluso la aplicación a otros casos de estudio representará un avance hacia el desarrollo sustentable, hacia la consolidación del análisis de ciclo de vida como la metodología más rigurosa para evaluar impactos ambientales potenciales.

## REFERENCIAS

- Fet, A. M., & Skaar, C. (2006). Eco-labeling, Product Category Rules and Certification Procedures Based on ISO 14025 Requirements (6 pp). *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 11(1), 49–54. <https://doi.org/10.1065/lca2006.01.237>
- II-UNAM. (2016). Herramienta ECOCASA para Sociedad Hipotecaria Federal. CDMX: Instituto de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México.
- ISO. (2006). ISO 14044:2006 Environmental management -- Life cycle assessment -- Requirements and guidelines. International Organization for Standardization.
- Ruiz-Méndez, D. (2017). Metodología con enfoque de análisis de ciclo de vida para evaluar el impacto ambiental de insumos adquiridos por una organización. México: UNAM. Retrieved from <http://132.248.9.195/ptd2017/octubre/516008099/Index.html>
- Verghese, K. L., Horne, R., & Carre, A. (2010). PIQET: The design and development of an online streamlined LCA tool for sustainable packaging design decision support. *International Journal of Life Cycle Assessment*, 15(6), 608–620. <https://doi.org/10.1007/s11367-010-0193-2>

### 2.2.7 Diseño de envases y embalajes para productos cerámicos y de mármol aplicando estrategias de ecodiseño y el análisis de ciclo de vida.

#### **Frida Anaid Nuricumbo Cano (1).**

Estudiante pasante de Ingeniería en Diseño, Universidad Tecnológica de la Mixteca (UTM) Oaxaca, México.

#### **Karla Indira Rodríguez López.**

Estudiante pasante de Ingeniería en Diseño, Universidad Tecnológica de la Mixteca (UTM) Oaxaca, México.

#### **María Mercedes Vivar Ojeda.**

Estudiante pasante de Ingeniería en Diseño, Universidad Tecnológica de la Mixteca (UTM) Oaxaca, México.

#### **Armando Rosas González.**

Profesor-investigador del Instituto de Diseño, Universidad Tecnológica de la Mixteca, Ingeniero en Diseño, Maestro en Tecnología Avanzada de Manufactura.

**Dirección (1):** Calle Emiliano Zapata #2 - Colonia Acatlima - H. Cd. de Huajuapán de León – Oaxaca - C.P. 69000 – México – Tel.: (045)953-133-59-67

**Email:** [nuricumbocano08@gmail.com](mailto:nuricumbocano08@gmail.com)

## RESUMEN

El empleo cada vez mayor de envases y embalajes ha hecho que los residuos derivados de los mismos hayan aumentado considerablemente durante los últimos años, por ello es importante integrar aspectos relacionados al cuidado del medio ambiente en su diseño. En esta investigación

se hizo uso de la Metodología del Ecodiseño del IHOBE y del Análisis del Ciclo de Vida (ACV) para generar sistemas de envases y embalajes para un producto cerámico y un objeto de mármol, las cuales incluyen consideraciones ambientales para su desarrollo con el objetivo de reducir los impactos adversos que se generan en los ecosistemas. Así pues, se utilizaron residuos agroindustriales derivados de fibras naturales del estado de Oaxaca para obtener alternativas de envases y embalajes más limpios con periodos cortos de degradación, para así disminuir el excesivo uso de materiales plásticos. Además, se buscó establecer un antecedente para la definición de sistemas de envase y embalaje sustentables que cumplan con las regulaciones de algunos países para la exportación de productos, los cuales podrían ser implementados en un futuro cercano por las empresas mexicanas.

**Palabras claves: Sistema de Envase y embalaje, Ecodiseño, Ciclo de vida, reducción de residuos sólidos, fibras naturales.**

## **INTRODUCCIÓN**

Para que las actividades en una empresa tengan un funcionamiento adecuado es necesario tomar en cuenta varios aspectos, abarcando desde la planeación del producto hasta su venta. La implementación de sistemas de envase y embalaje resulta fundamental para garantizar el óptimo transporte, almacenamiento y protección de los productos. De acuerdo con Lancioni y Chandran (1990), un embalaje se compone del paquete que determinará si el producto llega a la ubicación del cliente en condiciones adecuadas. Hoy en día, el embalaje ha adquirido una connotación más global, ya que puede constituirse por cualquier material que es utilizado para proteger, sostener, manejar, entregar y presentar bienes; este concepto incluye tanto a la materia prima como a los productos terminados. Algunos ejemplos de embalajes son las cajas y bolsas hechos con distintos materiales, ganchos para ropa, etc. (Agency, 2014).

El empleo cada vez mayor de envases y embalajes derivados del aumento en las rutas de distribución y en los estándares de seguridad para el transporte de productos, han acrecentado también los desechos generados por esta actividad durante los últimos años. Debido a esto, ha resultado importante la integración de aspectos relacionados al cuidado del medio ambiente para su diseño. En este contexto, el Ecodiseño y el Análisis del Ciclo de Vida (ACV) se han erigido como dos herramientas claves que tienen por objetivo diseñar productos y servicios sostenibles, que minimicen el impacto ambiental a lo largo de todo su Ciclo de Vida (CV), desde la extracción de las materias primas hasta la eliminación del producto. La necesidad del diseño de envases y embalajes surge por la demanda de transportación de la mercancía, lo cual implica el acatamiento de normas y políticas de envío. Esto aporta varios beneficios a las empresas, ya que en primer lugar se crea una mejor imagen de ellas; también se minimizan y controlan las pérdidas de productos durante su transporte (Careaga, 1993). Aunado a lo anterior, el uso de materiales amigables con el medio ambiente y la estandarización en los sistemas de envase y embalaje de las empresas, permitirá la reducción de desperdicios y costos de transportación.

Esta investigación se enfocó en desarrollar sistemas de envase y embalaje aprovechando los residuos del tallo de la planta del plátano, para productos cerámicos y de mármol que se caracterizan por tener un alto grado de fragilidad. Actualmente, se utiliza hule brubuja, rollos de polifoam, relleno cacahuate, plástico para emplayar y cinta canela para protegerlos y transportarlos. No obstante, estos materiales generan una alta contaminación al ser desechados ya que tardan alrededor de 100 años en degradarse y desprenden sustancias tóxicas (Hernández, 2013). A continuación, se presentan los objetivos bajo los cuales se desarrolló este trabajo, así como la metodología aplicada y los resultados obtenidos.

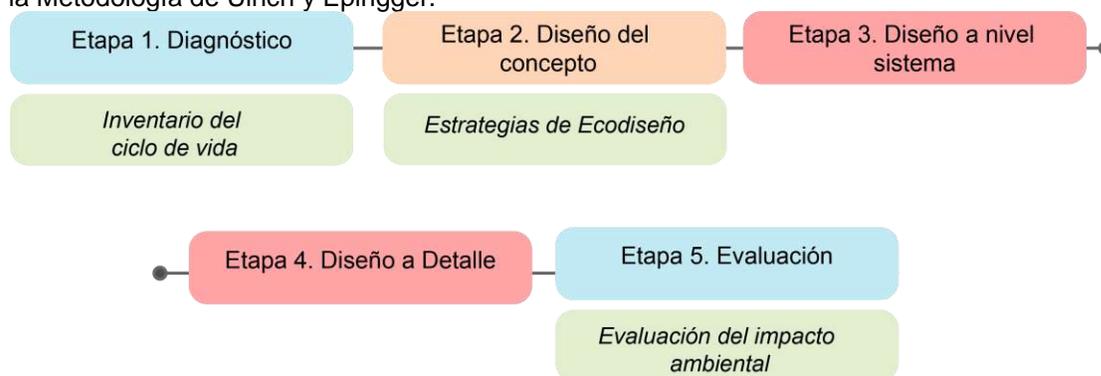
## **OBJETIVOS**

1. Realizar un diagnóstico de la situación actual de los productos, analizando materiales y aspectos ambientales para elaborar el Inventario del Ciclo de Vida del embalaje actual y del embalaje generado en esta investigación.

2. Plantear mejoras ambientales mediante la Rueda Estratégica del Ecodiseño.
3. Contrastar las características de los sistemas de embalaje y envase utilizados actualmente con los obtenidos en este trabajo, evaluando el ahorro de materiales y gestión de residuos.

## METODOLOGÍA

En esta investigación se integraron las Metodologías del Ecodiseño del IHOBE con la metodología de Ulrich y Epingger enfocada al diseño de productos, con el fin de abordar aspectos creativos, técnicos y ambientales para desarrollar sistemas de envase y embalaje sostenibles que sean viables de producir. Los productos seleccionados para el caso de estudio consisten en piezas utilitarias de mármol y cerámica, ambos materiales presentan características similares como la fragilidad; por lo tanto, tienden a presentar roturas, grietas y despostillamientos al momento de ser transportados. La Figura 1 muestra el esquema general de la metodología aplicada, los recuadros verdes indican los aspectos del Ecodiseño y del Análisis del Ciclo de Vida considerados e integrados con las etapas de la Metodología de Ulrich y Epingger.



**Figura 1: Integración de metodologías.**

### Desarrollo de la metodología

**Etapa 1 Diagnóstico.** Se realizó un análisis de los productos seleccionados para diseñar los sistemas de envase y embalaje; incluyendo sus dimensiones, peso y precio. Posteriormente se describieron el método y materiales actualmente usados para embalar los productos. Finalmente, se elaboró el Inventario del Ciclo de Vida, analizando los aspectos ambientales involucrados.

El primer caso estudiado consistió de un set de 4 platos de cerámica y el segundo caso lo integra una bandeja de mármol.

## Caso 1. Plato extendido

### Diagnóstico de pieza

El plato extendido tiene un diámetro de 31 cm, es uno de los productos más demandados ya que se venden 820 piezas al año. Por otro lado, este producto reporta el mayor índice de ruptura en la empresa durante su manejo y transporte. En la Figura 2 se presenta una imagen del plato en uso y en la Tabla 1 se enlistan sus características.



Figura 2: Plato Extendido.

Tabla 1: Características del plato extendido.

Producto	Material	Dimensiones (cm)	Peso (kg)	Precio unitario (pesos)
Plato extendido	Cerámica de alta temperatura	Ø 31 x 3	1.40	\$454.74

### Diagnóstico de materiales utilizados para envasar y embalar el producto actual

El sistema de envasado y embalaje actual consiste en el uso de hule burbuja, papel de estraza y una caja de cartón primaria para almacenar un set de 4 platos. Como se muestra en la Figura 3, se comienza por emplear una tira de 165 x 34 cm de hule burbuja, la cual se hace pasar por en medio de cada uno de ellos hasta cubrirlos totalmente. Posteriormente, se sella el envoltorio con cinta adhesiva y se envuelve con una tira de hule burbuja de 100 x 32 cm, se cubre con dos vueltas la pila de platos y se sella de nuevo con cinta adhesiva. Después, se introduce el paquete a una caja primaria de 13 x 13 x 4 pulgadas y con ayuda del papel de estraza se rellenan los espacios para evitar el movimiento de las piezas. Finalmente se colocan 4 cajas primarias dentro de una caja secundaria de 13 x 16 x 13 pulgadas, tal como se observa en la Figura 4.

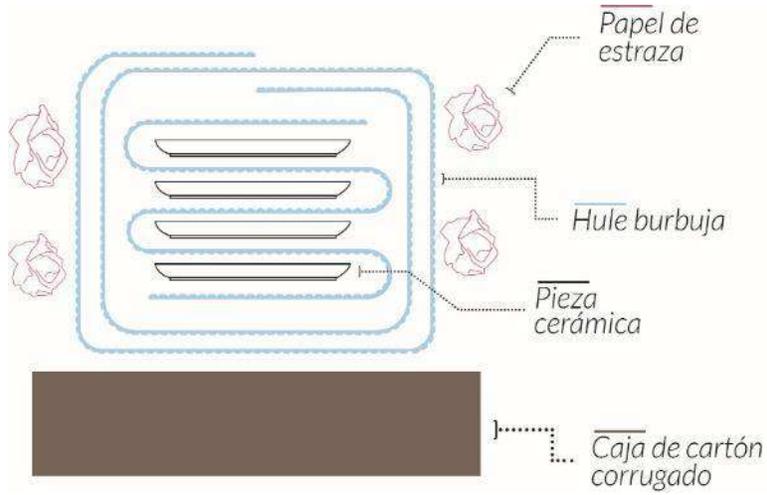


Figura 3: Embalaje con caja primaria para plato extendido.

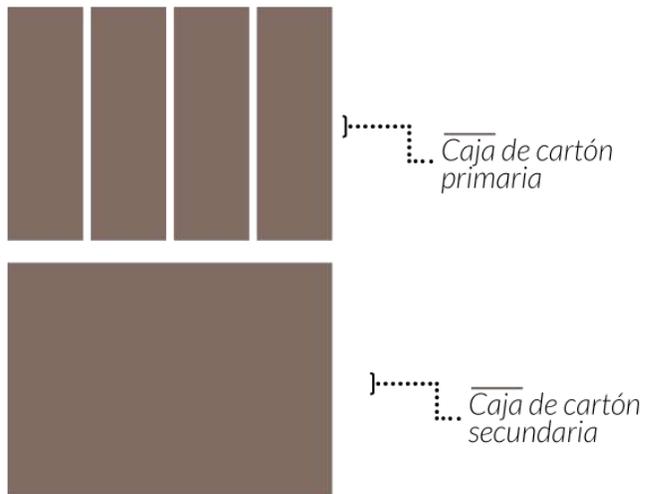


Figura 4: Embalaje con caja secundaria para plato extendido.

En la Tabla 2 se presentan los materiales utilizados en el armado del embalaje para el set de 4 platos extendidos.

**Tabla 2: Análisis de materiales utilizados para embalar un set de 4 platos extendidos.**

Producto	Dimensiones de caja (pulg)	Plástico burbuja (cm)	Papel de estraza (pliegos)
Plato extendido	Caja Primaria 13 x 13 x 4	265 x 34	3 pliegos de 60 x 80 cm c/u
	Caja Secundaria 13 x 16 x 13		

La Tabla 3 muestra las cantidades, precios unitarios y el precio total de los materiales utilizados mensualmente para en embalaje actual.

**Tabla 3: Cantidades, precios unitarios y precio total de los materiales.**

Material	Cantidad	Precio unitario (pesos)	Subtotal
Caja de cartón primario	18	\$16.04	\$288.72
Caja de cartón secundario	5	\$35.52	\$177.6
Plástico burbuja	13.26 x 1.22 mts	1 Rollo \$890	\$94.65
Papel de estraza	54 pliegos	50 kg \$1500	\$97.20
Cinta Adhesiva	1 (27.8 mts)	\$47.00	\$8.71
		Precio Total	\$661.88

### **Caso 2: Bandeja negra.**

#### **Diagnóstico de la pieza**

La bandeja negra es un producto que tiene una tasa de exportación de 95 piezas al mes y de 1140 envíos al año, su principal destino son los Estados Unidos de América. Está elaborada de mármol



negro Monterrey mate, es utilizada para contener una diversidad de objetos como artículos de baño, enseres de cocina y joyería. En la Figura 5 se muestran una vista en isométrico y en uso de la bandeja negra.

**Figura 5: Vistas de la bandeja negra en isométrico (izquierda) y en uso (Derecha).**

En la Tabla 4 se describen las características del producto, indicando algunas características como material, dimensiones, peso y precio.

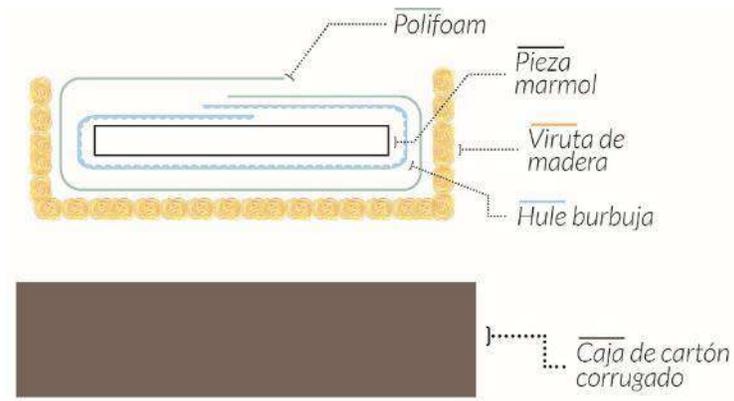
**Tabla 4: Características de la bandeja negra.**

Producto	Material	Dimensiones (cm)	Peso (kg)	Precio unitario (pesos)
Bandeja Negra	Mármol	20 x 30 x 3	4.4	\$1,500

#### **Diagnóstico de materiales utilizados para envasar y embalar el producto actual**

El proceso utilizado actualmente para embalar cada bandeja negra es el siguiente: al inicio, cada pieza es envuelta con plástico burbuja y se sella con cinta adhesiva. Posteriormente, se refuerza el envoltorio enrollando Polifoam y se vuelve a colocar cinta adhesiva. Después, se introduce el paquete en una caja de cartón de 43 x 32 x 13 cm y se rellena con viruta de madera para amortiguar los movimientos generados durante el transporte. Por último, cada caja es sellada con cinta adhesiva.

La Figura 6 presenta de forma gráfica los componentes del embalaje actual de cada pieza, en la Tabla 5 se muestran las cantidades de materiales utilizados para embalar cada bandeja negra.



**Figura 6: Embalaje para bandeja negra.**

**Tabla 5: Materiales utilizados para la pieza de mármol.**

Producto	Dimensiones de caja (cm)	Cantidad de plástico burbuja (cm)	Cantidad de Polifoam (cm)	Cantidad de viruta de madera (g)
Bandeja Negra	43 x 32 x 13	80 x 40	80 x 36	70

En la Tabla 6 se observan las cantidades, precios unitarios y el precio total de los materiales empleados mensualmente para embalar 95 bandejas negras.

**Tabla 6: Cantidades, precios unitarios y precio total de los materiales.**

Material	Piezas	Precio unitario	Subtotal
Caja de cartón	95	\$12.00	\$1140.00
Plástico burbuja	(1.22 x 26 m)	1 Rollo \$600	\$125
Polifoam	(1.08 x 26 m)	1 Rollo \$800.00	\$166.66
Viruta de Madera	6.65 kg	1 Paca \$693.00	\$460.80
Cinta Adhesiva	250 m	1 Rollo \$47.50	\$63.30
		Precio Total	\$1975.76

### **Inventario del Ciclo de Vida**

El Análisis del Ciclo de Vida (ACV) de un producto abarca todas las etapas de su vida útil; desde la extracción y procesamiento de las materias primas, pasando por la producción, distribución, uso del producto y su tratamiento o eliminación (IHOBE, 2000). Para la elaboración del Inventario del Ciclo

de Vida de un producto es necesario conocer las entradas y salidas en todas las etapas de su Ciclo de Vida (CV) con el fin de identificar los puntos de mejora ambientales.

En la Figura 7 se presenta el Inventario del Ciclo de Vida de los sistemas de envasado y embalaje actuales de ambos productos (plato extendido y bandeja negra). Es importante mencionar que mediante la investigación realizada se encontró que para los dos objetos se utilizan en su mayoría los mismos materiales, se ocupan las mismas fuentes de energía, también se ejecutan operaciones similares para efectuar el envasado y embalaje de las piezas, obteniéndose al final salidas idénticas.



**Figura 7: Esquema del Inventario del Ciclo de Vida para los sistemas de envasado y embalaje de ambos productos.**

### Etapa 2. Diseño del concepto

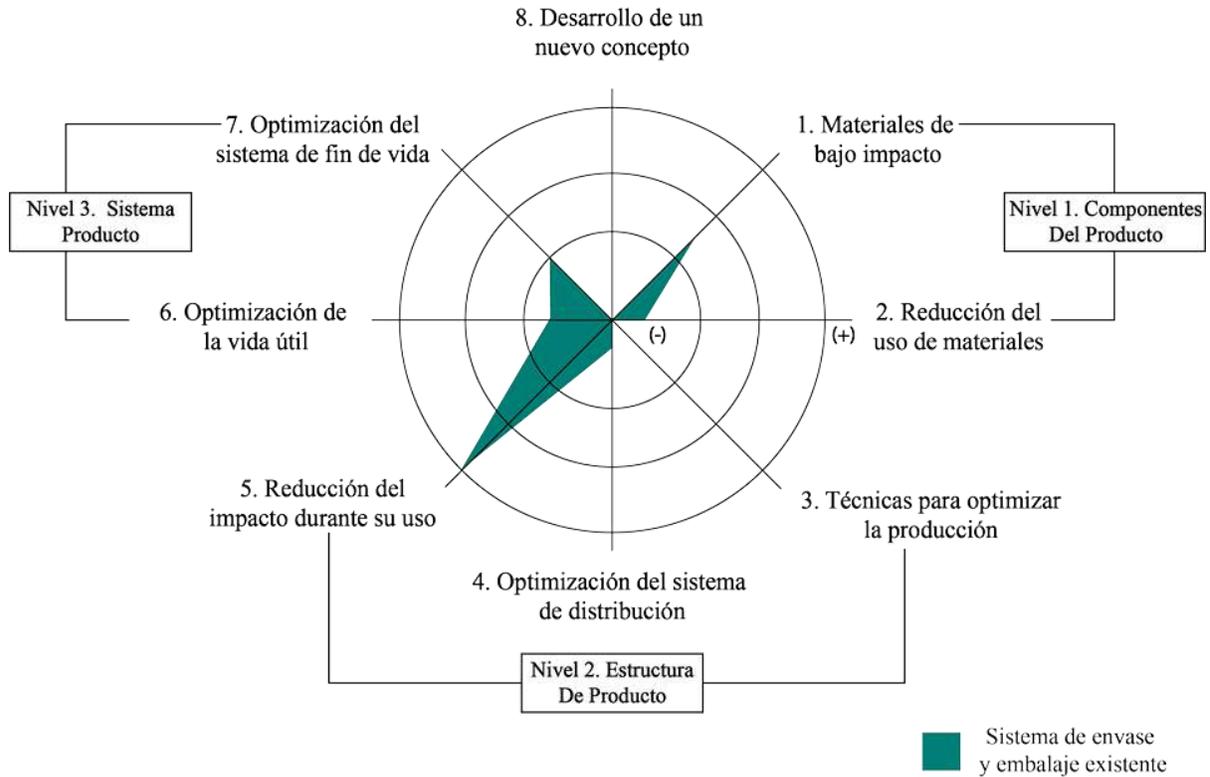
En esta etapa se identificaron las necesidades para diseñar los nuevos sistemas de envase y embalaje, por medio de las Ocho Estrategias del Ecodiseño, las cuales se consultaron en la Guía de Ecodiseño para envases y embalajes publicada por el IHOBE (2009), para posteriormente determinar los requerimientos. En la Tabla 7 se muestra un listado con las necesidades, estrategias y requerimientos que se definieron mediante las consultas hechas con las empresas fabricantes de las piezas de cerámica y mármol, en consonancia con las normas ambientales del IHOBE.

**Tabla 7: Necesidades y requerimientos considerados para el diseño de los nuevos sistemas de envase y embalaje.**

Necesidades	Estrategias	Requerimientos
Menor cantidad de material.	<ul style="list-style-type: none"> <li>Optimizar la relación continente/contenido.</li> <li>Optimizar la función del envase.</li> </ul>	<p>Apilable, modular.</p> <p>Reducción en volumen a transportar.</p> <p>Reducción en peso.</p>

Reducir la cantidad de materiales plásticos.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Uso de materias primas de bajo impacto ambiental.</li> </ul>	<p>Materiales limpios.</p> <p>Reducir espacios vacíos y material de relleno.</p>
Evitar daños por movimientos durante el envío.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Introducir mejoras en el transporte y distribución del envase.</li> </ul>	Amortiguadores para evitar movimiento durante el transporte.
Fácil uso y manejo del embalaje.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Optimizar la función del envase.</li> </ul>	Reducción de actividades al envasar.
Que el sistema pueda utilizarse por cualquier persona, sin necesidad de instrucción.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Optimizar la función del envase.</li> </ul>	Uso intuitivo.
Que sea más ecológico.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Uso de materias primas de bajo impacto ambiental.</li> <li>• Reducir el impacto ambiental en la gestión de los residuos de envase.</li> </ul>	<p>Materiales reciclados.</p> <p>Materiales reutilizables.</p>
Reducción de costos.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Optimizar la relación continente/contenido.</li> </ul>	<p>Pocos elementos.</p> <p>Uso compartido del producto.</p> <p>Reducir componentes del producto.</p>

A continuación, como se muestra en la Figura 8, se elaboró la Rueda Estratégica del Ecodiseño con el objetivo de visualizar el perfil ambiental de los sistemas de envase y embalaje actuales para ambos productos. Se utilizó una escala numérica del 1 al 3 para efectuar la evaluación de cada uno de los niveles ambientales, asignando un valor de 1 si se cumplían los requerimientos en un grado bajo y 3 se satisfacían las condiciones en un grado alto. Se obtuvieron resultados similares para los dos objetos, tal como sucedió al momento de determinar el Inventario del Ciclo de Vida de los sistemas de envase y embalaje, por lo cual se hizo una sola gráfica.



**Figura 8: Rueda estratégica del Ecodiseño de los sistemas de envase y embalaje actuales.**

### Descripción de la evaluación hecha mediante la Rueda Estratégica del Ecodiseño

Esta gráfica se compone de tres niveles, el primer nivel hace referencia a los componentes del embalaje actual para ambos productos, se evaluaron el uso de materiales de bajo impacto y la reducción del uso de materiales. El segundo nivel concierne a la estructura del embalaje y se examinaron las técnicas empleadas para optimizar la producción, la optimización del sistema de distribución y la reducción del impacto durante el uso. Por último, el tercer nivel se refiere a la optimización en la vida útil y el fin de vida del embalaje utilizado. En los siguientes párrafos se describe la forma en la cual se asignaron las calificaciones en cada rubro.

#### Nivel 1: componentes del producto

##### 1. Materiales de bajo impacto:

Para los sistemas de envase y embalaje actuales se usan materiales como cartón corrugado, papel de estraza, viruta de madera y cajas de cartón, los cuales se pueden reciclar o reutilizar. Sin embargo, también se utilizan materiales plásticos como hule burbuja, hule para emplaye, polifoam, cinta canela, diurex, los cuales no se reciclan o reutilizan. Por lo tanto, se asignó una puntuación de 1.5 en este parámetro.

##### 2. Reducción de uso de materiales:

En los sistemas de envase y embalaje actuales no existe una reducción de materiales, ya que se da prioridad a la seguridad durante el transporte del producto, haciendo un uso excesivo de ellos. En consecuencia, se le fijó una calificación de 0.5 en este rubro.

## **Nivel 2: estructura del producto**

### 3. Técnicas para optimizar la producción:

Las empresas no tienen influencia directa en los procesos de producción de los materiales para los sistemas de envase y embalaje actuales, ya que se tiene un conjunto de proveedores externos a ellas que los fabrican. Así pues, se dio un puntaje de 0 en este parámetro.

### 4. Optimización de sistemas de distribución:

Se ocupan materiales estándares que se adquieren con distintos proveedores, los cuales ejecutan de forma independiente su distribución. Por esta razón se asignó una puntuación de 0.5 en este rubro.

### 5. Reducción del impacto durante el uso:

Los sistemas de envase y embalaje actuales no utilizan energía ni desprenden sustancias tóxicas durante su uso, por lo cual no tienen repercusiones ambientales significativas. Por lo tanto, se le fijó una calificación de 3.0 en este parámetro.

## **Nivel 3: sistema del producto**

### 6. Optimización de vida útil:

Los sistemas de envase y embalaje actuales cumplen con su función, sin embargo, necesitan una gran cantidad de material para hacerlo. Aunado a esto, no cuentan con una estructura definida y estandarizada, por lo tanto, no existe una relación con el usuario haciendo que la confiabilidad sea escasa. En consecuencia, se dio un puntaje de 0.5 en este rubro.

### 7. Optimización del sistema de fin de vida:

Se asignó una calificación de 1.0 a este parámetro debido a que algunos materiales sobrantes y de desecho pueden llegar a ser utilizados como elementos complementarios de otra función, además, en algunas ocasiones se desperdicia material extra.

## **Generación de Alternativas**

Una vez que fueron establecidas las características por mejorar en los sistemas de envase y embalaje actuales, se procedió a generar nuevas propuestas de diseño bajo las siguientes premisas:

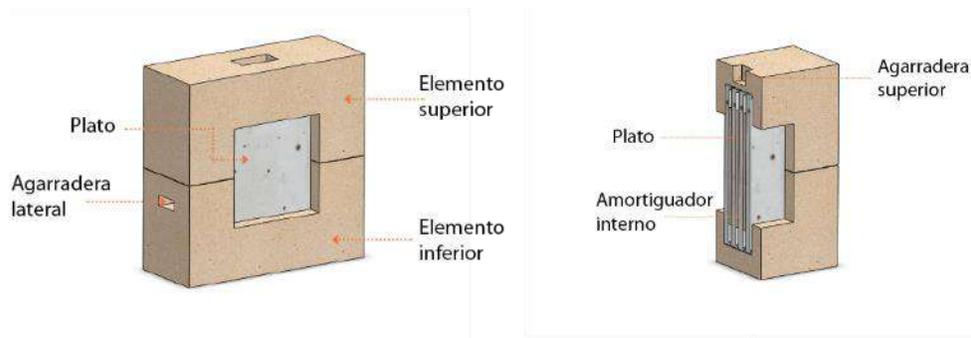
- Empleo de una mínima cantidad de materiales.
- Reducción de costos mensuales de los sistemas de envase y embalaje.
- Disminución de la cantidad de desechos que perjudiquen al medio ambiente.
- Uso de un material de bajo impacto ambiental aprovechando desechos agroindustriales.
- Protección del producto con el fin de evitar movimientos y rupturas durante el transporte.
- Fácil armado.

## **Etapas 3. Diseño a nivel sistema**

### **Caso 1. Plato extendido**

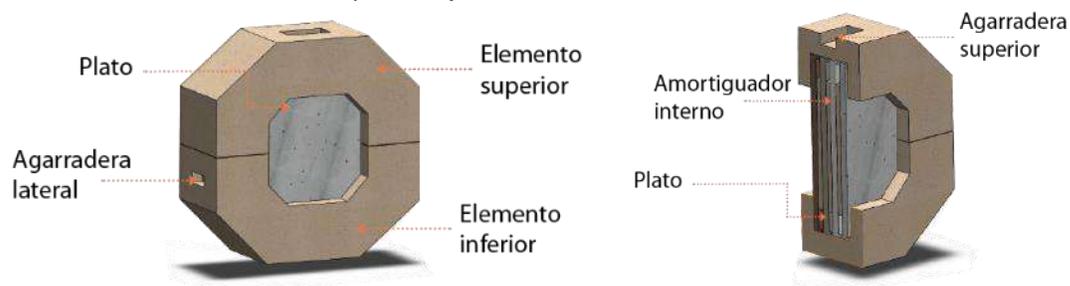
Se proyectaron las siguientes dos propuestas para el sistema de envase y embalaje del plato extendido:

a) Propuesta 1: Está conformada por 2 elementos que al ensamblarse forman un prisma rectangular que da soporte a los puntos débiles de los platos. Se contempló colocar un amortiguador de 1 cm de espesor entre cada plato con la finalidad de evitar choques entre estos. La Figura 9 presenta los elementos que conforman la propuesta del sistema de envase y embalaje (derecha) y una vista del corte transversal (izquierda). Las dimensiones proyectadas para esta alternativa son de 39 x 39 cm, fue diseñada para contener 4 platos y posteriormente almacenarse en grupos de 4 sets en una caja prismática secundaria de 39 x 60.8 x 39 cm.

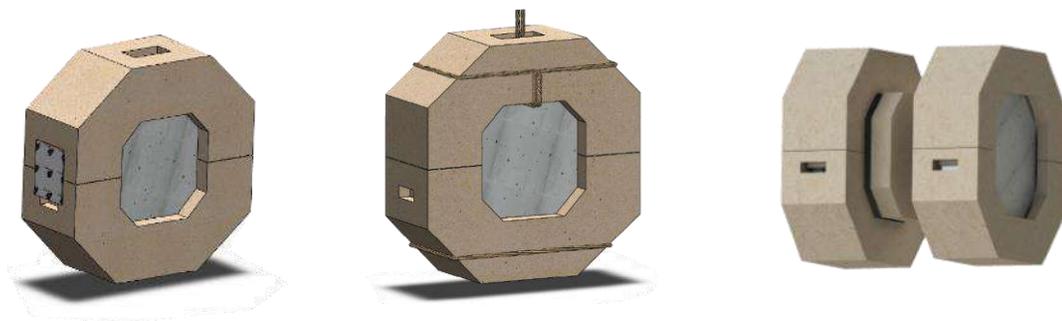


**Figura 9: Elementos de la propuesta 1 para el sistema de envase y embalaje del plato extendido.**

b) Propuesta 2: Posee una geometría que protege a los platos y elimina espacios vacíos. A diferencia del sistema de envase y embalaje actual, se ha descartado el uso de cajas para cada plato extendido, materiales plásticos, papeles y cartones que fungen como amortiguadores. En la Figura 10 se muestra que la propuesta está conformada por 2 elementos que se ensamblan para formar un prisma octogonal, se colocaron 3 amortiguadores de 1 cm de espesor entre cada plato con la finalidad de evitar choques entre estos. Además, cuenta con un orificio superior y dos laterales que sirven como agarraderas para facilitar su carga. Como se presenta en la Figura 11, para asegurar el sistema de envase y embalaje se plantea el uso de calcomanías, las cuales también servirían para promocionar la imagen de la empresa, indicarían que el producto es frágil y describirían su manejo. Adicionalmente, se propone el uso de un cordón que refuerce el embalaje y una pieza adicional que se coloca entre dos elementos para mejorar su estibación.



**Figura 10: Elementos de la propuesta 2 para el sistema de envase y embalaje del plato extendido.**



**Figura 11: Propuesta 2 con calcomanía, cordón y pieza adicional para estibación.**

#### Etapa 4: Diseño a Detalle.

##### Renders y especificaciones generales

Después de analizar las opciones que se plantearon para el nuevo sistema de envase y embalaje del plato extendido, se seleccionó la segunda alternativa debido a que cumple con los siguientes aspectos:

- Posee más puntos de aseguramiento para impedir que la pieza se mueva.
- Ocupará menor cantidad de material y tiene mayor soporte estructural para la estibación.
- Se arma de forma intuitiva.
- Cuenta con agarraderas que agilizan el movimiento del embalaje.
- Posee una agarradera principal en la parte superior.

La Figura 12 muestra las dimensiones generales del sistema elegido, con esta propuesta se eliminó el uso de hule burbuja, papel de estraza, amortiguadores de cartón corrugado y cinta adhesiva. Por otro lado, puede desprenderse uno de sus dos elementos para que pueda utilizarse como un exhibidor, tal como se presenta en la Figura 13.

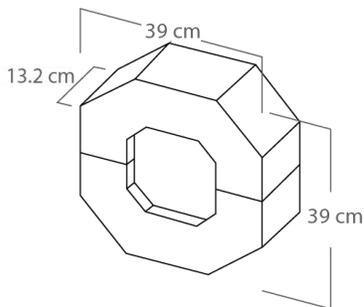


Figura 12: Medidas generales del sistema de envase y embalaje.

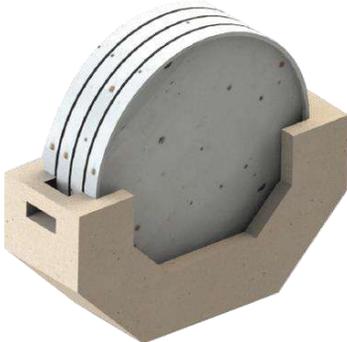
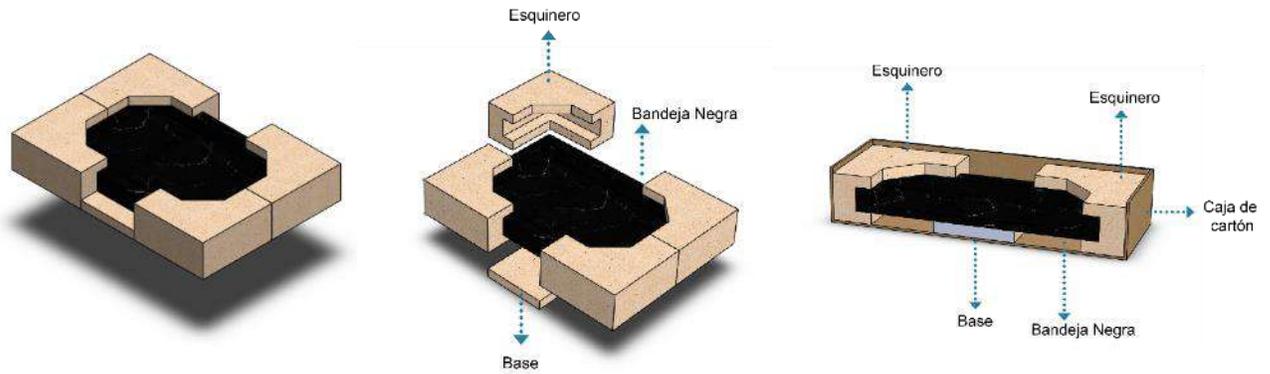


Figura 13: Uso como exhibidor del sistema de envase y embalaje.

#### Caso 2. Bandeja negra

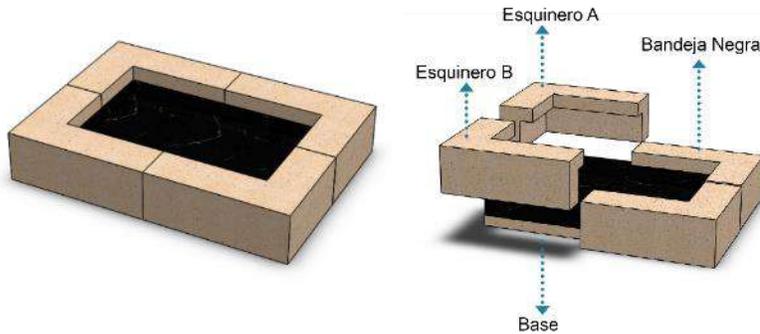
Se generaron las siguientes dos propuestas para el sistema de envase y embalaje de la bandeja negra:

a) Propuesta 1: Está formada por un conjunto de cuatro esquineros de 3 cm de espesor y una base con dimensiones de 10 X 26 x 1.5 cm. Como se muestra en la Figura 14, los esquineros se insertan en los cuatro vértices de la bandeja negra para evitar su movimiento durante el transporte. La base se localiza en la parte central del sistema de envase y embalaje, está en contacto directo con la parte inferior de la pieza de mármol para evitar que se rompa. Estos elementos se agruparían y almacenarían en una caja de 26 x 36 x 7 cm, lo cual evitaría ocupar material de relleno.

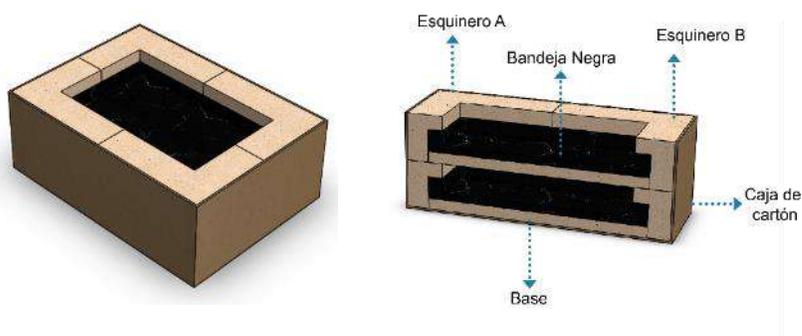


**Figura 14: Elementos de la propuesta 1 para el sistema de envase y embalaje de la bandeja negra.**

b) Propuesta 2: Como se presenta en la Figura 15, esta alternativa se compone de cuatro esquineros y una base que cubre totalmente la parte inferior del sistema de envase y embalaje, los esquineros envuelven a toda la pieza por sus laterales formando un marco alrededor de ella. Los esquineros tienen forma de "L", esto permite que no existan espacios vacíos por rellenar y sea fácil el proceso de envasado y embalaje. Adicionalmente, como se muestra en la Figura 16; se plantea meter dos bandejas negras en una caja de 26 x 36 x 13 cm, una sobre otra, cada una con su conjunto de esquineros y base. Lo anterior reducirá a la mitad la cantidad de cajas utilizadas mensualmente, evitando la generación de más desechos.



**Figura 15: Elementos de la propuesta 2 para el sistema de envase y embalaje de la bandeja negra.**

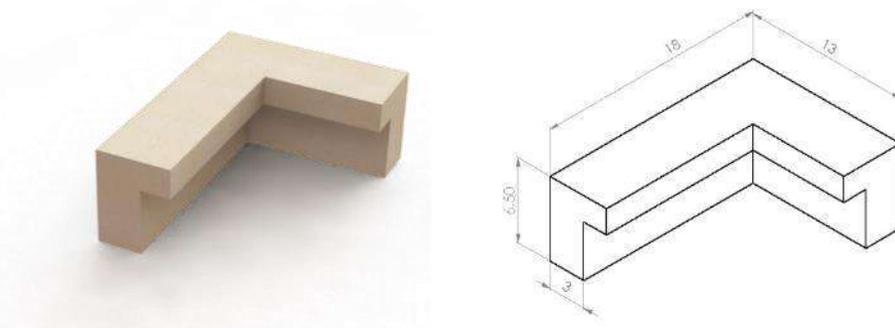


**Figura 16: Acomodo de dos bandejas negras.**

### Renders y especificaciones generales

Después de examinar las alternativas que se diseñaron para el nuevo sistema de envase y embalaje de la bandeja negra, se eligió la segunda alternativa debido a que cumple con los siguientes aspectos:

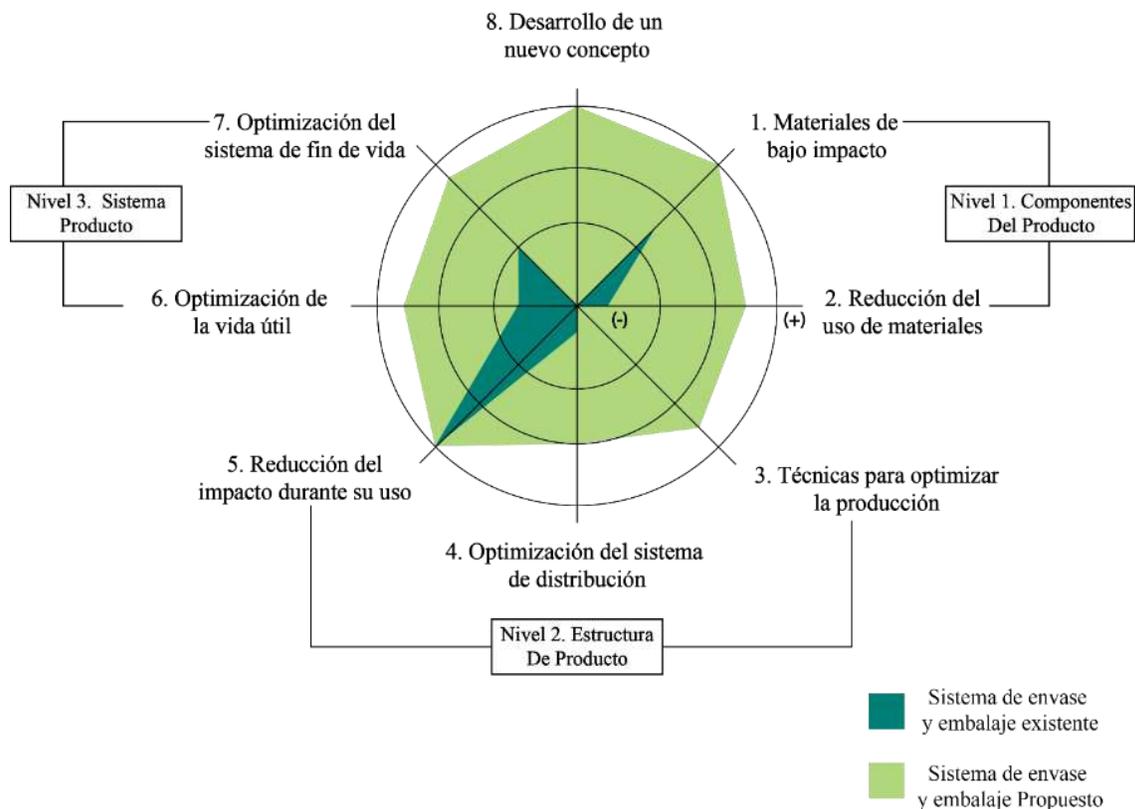
- Posee mayor área de protección mediante la integración del marco y la base que cubre toda la parte inferior del objeto.
- El producto y el embalaje pueda ser entregado a los compradores en ventas individuales.
- Se arma de forma intuitiva.
- Las bandejas negras son exportadas a los Estados Unidos de América, se plantea ocupar una caja de 26 x 36 x 7 cm para su transporte. La Figura 17 presenta las dimensiones generales de un esquinero.



**Figura 17: Dimensiones generales de un esquinero.**

### Etapas 5. Evaluación

Primero, como se muestra en la Figura 19, se estableció una comparación de la Rueda Estratégica del Ecodiseño de los sistemas de envase y embalaje actuales (color verde oscuro) con la obtenida para los sistemas propuestos (color verde claro). Puede observarse que se logró incrementar los valores en la mayoría de los niveles ambientales gracias a la aplicación de las estrategias del Ecodiseño.



**Figura 18: Comparación de la Rueda Estratégica del Ecodiseño de los sistemas de envase y embalaje actuales con la obtenida para los sistemas propuestos.**

A continuación, se hace describen a detalle de cada una de las estrategias aplicadas en los diferentes niveles que conforman la rueda de estrategias:

**Nivel 1: componentes del producto**

1. Materiales de bajo impacto:

Los sistemas de envase y embalaje propuestos recibieron una puntuación de 3.0, ya que la materia prima utilizada para su fabricación se conforma de papel reciclado y un residuo agroindustrial. Con esto se sustituyeron a los materiales plásticos ocupados actualmente, los cuales tienen un impacto negativo en el medio ambiente.

2. Reducción de uso de materiales:

Para los nuevos sistemas de envase y embalaje se prescindió del uso de materiales plásticos, papeles y virutas de madera; se conservaron únicamente una caja de cartón y amortiguadores hechos con fibras del residuo agroindustrial. Por lo tanto, se asignó un puntaje de 2.5 en este rubro.

**Nivel 2: estructura del producto**

3. Técnicas para optimizar la producción:

Los amortiguadores se producirán en piezas con formas y medidas estándar, de esta forma se eliminará el tiempo y las actividades que son necesarias para la preparación de los elementos que conforman a los sistemas de envase y embalaje actuales (corte y medición de papel, hule burbuja y polifoam). Por otra parte, se tendrá una injerencia directa en la fabricación del material de los sistemas propuestos, la cual conlleva una menor cantidad de recursos y acciones para su producción, por ello este parámetro recibió una puntuación de 2.5.

#### 4. Optimización de sistemas de distribución:

La mayoría de las materias primas requeridas para la elaboración de los sistemas de envase y embalaje propuestos se adquirirán en las regiones aledañas a la H. Cd. de Huajuapán de León, por lo que disminuirán los gastos e impactos al medio ambiente derivados de su transporte. Por otra parte, el residuo agroindustrial será recolectado en varias zonas del estado de Oaxaca. Así pues, se asignó una calificación de 2.0 para este rubro.

#### 5. Reducción del impacto durante el uso:

Los sistemas de envase y embalaje desarrollados no requieren de energía y no desprenden sustancias tóxicas al ser utilizados, por lo cual este parámetro recibió una puntuación de 3.0

### Nivel 2: sistema del producto

#### 6. Optimización de vida útil:

Los sistemas de envase y embalaje propuestos logran cumplir con la función para la cual fueron diseñados, además, será factible su reutilización. Por otro lado, el usuario tendrá un fácil y seguro manejo de ellos, por esta razón se asignó un puntaje de 2.5 en este rubro.

#### 7. Optimización del sistema de fin de vida:

El material hecho con los residuos agroindustriales se degradará más rápido, en comparación con los plásticos que actualmente se ocupan para los sistemas de envase y embalaje. En el caso del sistema de envase y embalaje desarrollado para el plato extendido, tendrá un uso adicional como exhibidor de las piezas cerámicas, con lo cual se alargará la vida útil del mismo. Por ello, este parámetro recibió una calificación de 2.5.

#### 8. Desarrollo de un nuevo concepto:

Los sistemas de envase y embalaje actuales emplean películas plásticas para envolver al producto, además, usan viruta de madera y papel de estraza como relleno para impedir el movimiento de las piezas. Por lo tanto, su configuración se realiza de forma improvisada. En esta investigación se generaron dos nuevos conceptos de sistemas de envase y embalaje, los cuales cuentan con una estructura y métodos de fabricación definidos, por lo tanto, se asignó una puntuación de 4.0 en este rubro.

## RESULTADOS

Se estableció una comparación de los materiales y costos involucrados de los sistemas de envasado y embalaje actuales con los requeridos por los nuevos sistemas propuestos, dichos resultados se presentan en la Tabla 8.

**Tabla 8: Comparación de costos mensuales de los sistemas de envase y embalaje actuales con los sistemas propuestos.**

Set de 4 Platos extendidos		Bandeja Negra	
Embalaje Actual	Sistema de envase y embalaje propuesto	Embalaje Actual	Sistema de envase y embalaje propuesto
<b>Materiales</b>			
18 Cajas de cartón de 13 x 13 x 4 pulg	18 piezas de fibra \$720.00	95 Cajas de cartón de 43 x 32 x 13 cm	95 conjuntos de fibra \$1267.72

5 Cajas de cartón de 13 x 16 x 13 pulg	5 Cajas de cartón de 13 x 16 x 13 pulg \$177.6	Plástico burbuja (1.22 x 26 m)	95 Cajas de cartón de 36 x 26 x 7 \$1140.00
Plástico burbuja (13.26 x 1.22 mt)	7 m de Cinta Adhesiva \$2.19	Polifoam (1.08 x 26 m)	38 m Cinta Adhesiva \$11.71
54 Pliegos de papel de estraza	Cordón (19.26 m) \$240.36	Viruta de Madera 6.65 kg	
27.8 mt de Cinta Adhesiva		250 m Cinta Adhesiva	
<b>Precio Total</b>			
\$661.88	\$1140.15	\$1975.76	\$2419.75

## DISCUSIÓN DE RESULTADOS

De acuerdo con la tabla anterior, se observa una disminución significativa en el uso de materiales plásticos y papeles. No obstante, el costo de los nuevos sistemas en envase y embalaje son más altos, esto se debe a que su cálculo se hizo considerando una producción a pequeña escala, ocupando operarios humanos en la mayoría de las actividades en lugar de máquinas. En cambio, la producción de los materiales que se ocupan actualmente para los sistemas de envase y embalaje se hace a gran escala, su fabricación se agiliza mediante el uso de máquinas y equipos, lo cual también abarata los costos de manufactura.

Sin embargo, la disparidad en los costos se compensa con los beneficios ambientales que aportarán los nuevos sistemas; ya que pueden reutilizarse, se les puede dar un uso adicional y al terminar su vida útil se degradarían más rápido debido a la naturaleza de los materiales ocupados en su fabricación. Por otro lado, se podrían implementar mejoras en su fabricación con miras a incrementar la cantidad de unidades elaboradas.

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Es palpable la necesidad por desarrollar, ejecutar y verificar el cumplimiento de normas ambientales en México para el desarrollo de nuevos productos y servicios. Es un terreno poco explorado que representa un área de oportunidad para las empresas mexicanas, lo cual las ayudaría a diferenciarse y posicionarse sobre la competencia.

Al término de esta investigación se pudo constatar que existe un enorme potencial para ocupar materiales ecoamigables en el diseño de sistemas en envase y embalaje, lo cual disminuiría la contaminación en el medio ambiente y facilitaría la exportación de los productos a naciones que ya cuentan con regulaciones ambientales. Por otro lado, se recomienda el uso de las Ocho Estrategias

y de la Rueda Estratégica del Ecodiseño para concebir productos donde se optimice su Ciclo de Vida.

#### **REFERENCIAS**

1. Agency, E. (2014). Packaging waste: producer responsibilities. (Inf. Téc.). Government Digital Service.
2. Careaga, J. A. (1993). Manejo y reciclaje de los residuos de envases y embalajes (n.o 4). SEDESOL, Instituto Nacional de Ecología.
3. Hernández, M.L. (27 de mayo de 2013). El impacto del plástico en el medio ambiente. La Jornada.
4. IHOBE (2000). Manual práctico de Ecodiseño, Gobierno Vasco.
5. IHOBE (2009). Guías sectoriales de Ecodiseño, envase y embalajes, Gobierno Vasco.
6. Lancioni, R. A., y Chandran, R. (1990). The role of packaging in international logistics. International Journal of Physical Distribution & Logistics Management, 20 (8), 41-43. doi: <https://doi.org/10.1108/09600039010000787>

#### **2.2.8 Estrategias de ecodiseño aplicadas al diseño y fabricación de una vajilla ecológica considerando su ciclo de vida.**

##### **María Mercedes Vivar Ojeda**

Estudiante de décimo semestre en la carrera de Ingeniería en Diseño de la Universidad Tecnológica de la Mixteca. Interesada por la generación de objetos ambientalmente amigables.

##### **Karla Indira Rodríguez López**

Estudiante de pregrado en Ingeniería en Diseño, Universidad Tecnológica de la Mixteca, Oaxaca, México.

##### **Frida Anaid Nuricumbo Cano**

Estudiante de pregrado en Ingeniería en Diseño, Universidad Tecnológica de la Mixteca, Oaxaca, México.

##### **Dulce María Clemente Guerrero**

Profesora-investigadora del Instituto de Diseño, Universidad Tecnológica de la Mixteca, Diseñadora Industrial con Maestría en Tecnológica Avanzada de Manufactura.

**Dirección (1):** Calle Filemón Olea Luna, 24 – Colonia del Maestro – Huajuapán de León – Oaxaca - 69005 – México - Tel.: (+52 1) 953-536-0991

**Email (1):** mercedes.vivar@outlook.com

RESUMEN.

En esta investigación se realizó el diseño de una vajilla ecológica de arcilla aplicando las 8 estrategias del Ecodiseño y el Análisis del Ciclo de Vida (ACV). La producción de piezas de alfarería es una labor que genera un alto impacto ambiental, desde la extracción de las materias primas hasta su fin de vida. Por ello, en este proyecto se abordó como caso de estudio, el proceso de elaboración de piezas cerámicas hechas por artesanos de la comunidad de San Jerónimo Silacayoapilla, Oaxaca. Mediante el ACV se identificaron aquellos aspectos que fueron factibles de mejorar en la cerámica artesanal. En este trabajo se presentan algunas soluciones y recomendaciones para disminuir los desechos y prolongar la vida útil de los elementos que componen la vajilla ecológica.

**Palabras clave: Vajilla ecológica, Ecodiseño, ACV.**

## INTRODUCCIÓN.

En los últimos años, los temas relacionados con la preservación del medio ambiente han movilizado a importantes sectores sociales, los cuales han buscado frenar parte de los efectos negativos ambientales causados por las actividades del hombre (de Carvalho Filho, 2011). La producción de piezas de alfarería genera un alto impacto ambiental negativo, ya que durante la fabricación de los objetos cerámicos se ocupan materias primas, materiales y procesos que generan gases de efecto invernadero, carbón y cenizas (Cerem Comunicación, 2016). Por ello, fue necesario aplicar el Análisis del Ciclo de Vida (ACV) en los productos de alfarería de la población de San Jerónimo Silacayoapilla, Oaxaca; para identificar aspectos factibles de mejorar en las fases de diseño y fabricación de sus productos. Se decidió diseñar una vajilla ecológica de arcilla, considerando las 8 Estrategias del Ecodiseño (8EE) y el ACV, incorporando el uso de técnicas tradicionales para la producción de cerámica, además de proponer usos alternativos para los elementos de la vajilla que concluyen con su vida útil. Adicionalmente, se retomaron algunos elementos gráficos que forman parte de la identidad de la comunidad en la decoración de las piezas cerámicas.

### **Identificación y definición del problema.**

Tradicionalmente, cuando se diseña un objeto únicamente se consideran sus aspectos formales y funcionales, dejando de lado el impacto ambiental generado por las actividades derivadas de su Ciclo de Vida (CV) (Covarrubias Pérez & Estrada Sánchez, 2010). Muchos de los objetos son fabricados con materiales que contaminan al medio ambiente, un claro ejemplo de esto se presenta en el uso del plomo para la decoración de vajillas cerámicas. El plomo produce una enfermedad llamada saturnismo, la cual altera el funcionamiento del sistema nervioso. En la cerámica generalmente los esmaltes más utilizados están hechos a base de plomo (Barro Aprobado, 2014).

Los productos cerámicos son algunos de los objetos que generan un mayor impacto ambiental negativo a lo largo de todo su CV (Cerem Comunicación, 2016). Por ello, en la actualidad existen diversas marcas que ofrecen vajillas ecológicas reusables y

desechables, algunas de ellas están hechas con materiales como bambú, cáscara de naranja, vidrio reciclado, pulpa de azúcar, entre otros materiales. Sin embargo, estas alternativas únicamente se centran en usar materiales con un menor impacto ambiental, desestimando otros aspectos que intervienen en el CV de las piezas cerámicas.

El progreso en los procesos de fabricación, aunado a la aparición de nuevos materiales y a otros factores; causaron que las vajillas artesanales fueran desplazadas por una variedad que son producidas a escala industrial. Sin embargo, actualmente existe una fuerte tendencia en todo el mundo para retomar técnicas tradicionales de producción de cerámica, incorporando la identidad gráfica de las comunidades y aspectos para el cuidado del medio ambiente.

En esta investigación se planteó diseñar una vajilla ecológica, para mujeres de nivel socioeconómico C+ y C (AMAI, 2018), con edad que oscile entre los 30 y 40 años, casadas o solteras, que son conscientes que el consumo de productos que ayudan a cuidar el medioambiente mediante la implementación de una producción responsable. Para la fabricación de la vajilla se utilizó arcilla de la comunidad de San Jerónimo Silacayoapilla, Oaxaca; además, se verificó el cumplimiento de la Norma Oficial Mexicana NOM-231-SSA1-2016. También se implementaron mejoras ambientales mediante la aplicación del ACV y se retomaron elementos gráficos tradicionales y acabados artesanales.

San Jerónimo Silacayoapilla es una localidad que se encuentra a 20 minutos de Huajuapán de León, Oaxaca. En este sitio se extrae arcilla que es utilizada en el sector de la construcción para la elaboración de tejas y tabiques. Sin embargo, también se emplea para la elaboración de barro, molcajetes, jarrones, áspales, macetas, platos y otras piezas de alfarería.

Mediante la aplicación de algunas herramientas del Ecodiseño, en este proyecto se establecieron mejoras concernientes al diseño, producción, vida útil y desecho de la vajilla artesanal que comúnmente se fabrica en San Jerónimo Silacayoapilla, para obtener la propuesta de una vajilla ecológica.

#### **Justificación.**

La aparición de nuevos productos ha generado un consumo desmedido de los recursos de nuestro planeta y una gran contaminación. Las industrias únicamente se han preocupado por el desarrollo tecnológico y económico que logre masificar los procesos productivos, pero han dejado de lado aspectos relacionados con el cuidado del medio ambiente (García Parra, 2008).

Ante esta problemática, se requiere que los diseñadores no solo se enfoquen en solucionar y generar necesidades del usuario, deben ir más allá para lograr disminuir el impacto ambiental de los productos que se generan (García Parra, 2008).

En este proyecto se diseñó una vajilla ecológica de cerámica, utilizando herramientas del Ecodiseño, específicamente las 8EE y el ACV, para incrementar su valor económico y social.

#### **Objetivo general.**

Diseñar y elaborar una vajilla ecológica hecha con cerámica, mediante la aplicación del Análisis del Ciclo de Vida y las 8 estrategias del Ecodiseño, retomando técnicas tradicionales de la cerámica mixteca para su fabricación y ofreciendo alternativas en su reutilización.

#### **Objetivos específicos.**

1. Determinar los factores motivantes del proyecto para definir el pliego de condiciones para el diseño de la vajilla ecológica.
2. Diseñar una vajilla ecológica considerando las siguientes estrategias del Ecodiseño: reducción en el uso de materiales, optimización del Ciclo de Vida y el Sistema de fin de vida del producto.
3. Cumplir con las condiciones establecidas por la Norma Oficial Mexicana NOM-231-SSA1-2016- Artículos de alfarería vidriada, cerámica vidriada, porcelana y artículos de vidrio- Límites máximos permisibles de plomo y cadmio solubles-Método de Ensayo; para garantizar que la vajilla no contenga plomo y cadmio.

#### **Metodología empleada.**

En esta investigación se aplicó una metodología que incluye aspectos de la Metodología de Diseño y Desarrollo de Productos de Ulrich y Eppinger (2013) y la Metodología del Manual Práctico del Ecodiseño del IHOBE (2000), las fases que la componen se detallan a continuación:

Fase 1, Preparación del proyecto de Ecodiseño: inicialmente se establecieron los Factores Motivantes para la realización del proyecto. Además, se analizó el proceso de fabricación tradicional de piezas de alfarería en San Jerónimo Silacayoapilla, Oaxaca.

Fase 2, Definición de aspectos ambientales: se investigaron, identificaron y seleccionaron alternativas de mejoras ambientales para la conceptualización de la vajilla ecológica.

Fase 3, Generación de ideas de mejora: se utilizaron las 8 estrategias del Ecodiseño para definir un listado de ideas con mejoras (pliego de condiciones), además se aplicó la técnica del Brainstorming (Lluvia de ideas) para la determinación de alternativas creativas en el diseño de la vajilla ecológica.

Fase 4, Desarrollo de conceptos: se elaboraron varias propuestas de diseño de la vajilla ecológica, eligiendo la opción que integró la mayoría de los aspectos incluidos en el pliego de condiciones ambientales.

Fase 5, Definición del producto en detalle: se determinaron las especificaciones geométricas y dimensionales del producto utilizando software CAD. Posteriormente, se generó un prototipo inicial de la vajilla ecológica.

Fase 6, Pruebas y refinamiento: se realizó un análisis del primer prototipo generado, se compararon sus características con los aspectos establecidos en el pliego de condiciones ambientales, lo cual permitió realizar algunos ajustes en la idea inicial para producir el prototipo final.

Fase 7, Evaluación: se verificó el cumplimiento de la Norma Oficial Mexicana NOM-231-SSA1-2016, la cual dictamina los límites permisibles de plomo en la fabricación de piezas cerámicas.

### **Etapas 1. Preparación del proyecto.**

#### **Factores motivantes para el uso del Ecodiseño.**

Los Factores motivantes permitieron analizar las fortalezas, oportunidades, debilidades y amenazas desde el enfoque del Ecodiseño, tanto en el ámbito interno como externo, para la generación de la vajilla ecológica.

#### **Factores motivantes externos para el Ecodiseño.**

Los Factores motivantes externos son aquellas oportunidades y amenazas que se identificaron en aspectos relacionados con la legislación y regulación, el mercado, los competidores y la responsabilidad con el medio ambiente. En seguida se presentan a detalle cada uno de los factores motivantes externos considerados para el diseño de la vajilla ecológica:

**Administración: legislación y regulación.** Se sustituyó el uso de esmaltes con plomo en cumplimiento con la Norma Oficial Mexicana NOM-231-SSA1-2016 Artículos de alfarería vidriada, cerámica vidriada, porcelana y artículos de vidrio-Límites máximos permisibles de plomo y cadmio solubles-Método de Ensayo; debido a que dichas sustancias son nocivas para la salud humana, la flora y la fauna.

**Mercado: demandas de clientes.** Existe un mercado creciente que prefiere consumir y usar productos que son amigables con el medio ambiente. Además, el Ecodiseño es un concepto que se ha aplicado poco para el desarrollo de nuevos productos, ya que la mayoría de las empresas se centran en mejorar sólo el manejo de la energía en sus procesos. Por ello, se produjo una vajilla ecológica que representa una alternativa en el mercado de las piezas de alfarería.

**Competidores.** Se determinó aplicar la Metodología del Manual Práctico del Ecodiseño del IHOBE como un factor que puede distinguir a la vajilla ecológica de los productos de la competencia.

**Entorno social: responsabilidad con el Medio Ambiente.** Mediante la aplicación del Ecodiseño se buscó fomentar el cuidado del medio ambiente, aplicando mejoras en el CV del producto para que los productores y consumidores disminuyan el impacto ambiental negativo en las fases de producción y desecho, respectivamente.

**Factores motivantes internos para el Ecodiseño.**

Los Factores motivantes internos consisten en las fortalezas y debilidades referentes a la imagen del producto y poder de innovación. A continuación, se describen puntualmente cada uno de los factores motivantes internos atendidos para el diseño de la vajilla ecológica:

**Mejora de la imagen del producto.** Se determinó difundir y comunicar mediante la ayuda del marketing verde la imagen de la vajilla ecológica. Además, se buscará expresar y resaltar los aspectos ambientales tomados en cuenta en el desarrollo de este producto a través de una etiqueta ecológica.

**Poder de innovación.** Con la aplicación del Ecodiseño se generó un producto innovador con nuevos enfoques en su producción, diseño y reutilización; buscando la introducción de la vajilla ecológica a nuevos nichos de mercado.

**Etapa 2. Aspectos ambientales.**

**Ciclo de Vida de la vajilla artesanal.**

El Ciclo de Vida es el conjunto de etapas por las que atraviesa un producto de inicio a fin (García Parra, 2008). Para facilitar su análisis generalmente se divide en 5 fases que son: adquisición de recursos, producción, distribución, uso o vida útil y fin de vida. La Figura 1 muestra el esquema del CV de una vajilla artesanal, en la Tabla 1 se describen a detalle las entradas, procesos y salidas concernientes al mismo. Resultó importante analizar todas las fases involucradas en el CV de la vajilla artesanal, ya que así se reconocieron los

impactos y posibilidades por mejorar o innovar en el producto.



**Figura 1. Ciclo de vida de la vajilla artesanal.**

**Tabla 1.**

**Análisis del Ciclo de Vida de vajilla artesanal.**

ENTRADAS	CICLO DE VIDA DEL PRODUCTO	SALIDAS
----------	----------------------------	---------

		<b>Residuos o emisiones</b>
<p>Materias primas: arcilla, agua, yeso, leña, óxidos, cartón, periódico y esmaltes a base de plomo.</p> <p>Energía: gasolina.</p>	<p><b>Obtención y consumo de materiales y componentes:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Adquisición de los óxidos y esmaltes.</li> <li>• Compra de yeso en tienda local.</li> <li>• Elaboración de placas de yeso.</li> <li>• Agua de la red de la comunidad.</li> <li>• Extracción de arcilla.</li> <li>• Elaboración de barro y secado de barro en pilas o en placas de yeso.</li> <li>• Adquisición de cartón y periódico.</li> <li>• Extracción de leña.</li> </ul>	<p>Aguas residuales, aguas grises, yeso, emisiones vehiculares de CO<sub>2</sub>.</p>
<p>Materias primas: agua, lijas, yeso.</p> <p>Energía: eléctrica y biomasa (leña).</p>	<p><b>Producción en taller</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Moldeo de las piezas.</li> <li>• Secado de piezas a temperatura ambiente.</li> <li>• Lijado de las piezas.</li> <li>• Esmaltado o bruñido de las piezas.</li> <li>• Quema de piezas en horno de leña.</li> </ul>	<p>Yeso, lijas, agua residual, emisiones de humo.</p>
<p>Energía: gasolina.</p>	<p><b>Distribución y venta</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Embalaje con periódico y cartón.</li> <li>• Traslado en transporte público.</li> <li>• Venta en expo ferias.</li> </ul>	<p>Cartón, periódico, emisiones de CO<sub>2</sub>.</p>
<p>Materias primas: detergente y agua.</p>	<p><b>Uso o utilización</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Servir, trasladar y permitir la ingesta de alimentos y bebidas.</li> </ul>	<p>Aguas grises.</p>
<p>Energía: gasolina.</p>	<p><b>Sistema de fin de vida</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Reutilización del producto.</li> </ul>	<p>Residuos sólidos de la vajilla.</p>

### Etapa 3. Ideas de mejora.

#### Aplicación de las 8 estrategias del Ecodiseño.

Para que existiera una adecuada generación de ideas fue importante conocer todas las fases del CV del producto, esto brindó la libertad y posibilidad de generar nuevas ideas sin afectar alguna de sus fases. En la Tabla 2 se observan las estrategias Ecodiseño que fueron utilizadas para la vajilla ecológica.

Tabla 2. Estrategias de Ecodiseño.

ETAPAS DEL CICLO DE VIDA	ESTRATEGIAS DEL ECODISEÑO	IDEAS DE MEJORA (PLIEGO DE CONDICIONES)
Obtención y consumo de materiales y componentes.	1. Seleccionar materiales de bajo impacto.	Uso de óxidos cerámicos y eliminación del uso de esmaltes de base de plomo.
	2. Reducir el uso de material.	Formas simples. Eliminación del yeso para moldes. Controlar y unificar la materia prima para todas las piezas.
Producción en taller.	3. Seleccionar técnicas de producción ambientalmente eficientes.	Utilizar horno eléctrico.
Sistema de fin de vida. Eliminación final	6. Optimizar el Ciclo de Vida.	Opción de adquisición de las piezas por separado.
	7. Optimizar el sistema de fin de vida.	Incluir sugerencias de formas de reutilización de las piezas.  *Reutilización del producto: maceta, comedero para mascotas, porta-llaves, porta-maceta, vaso, objeto decorativo, para utilizar en pisos y mesas como mosaicos.

A continuación, se describe detalladamente cada uno de los puntos establecidos en el pliego de condiciones para el desarrollo de la vajilla ecológica.

**Seleccionar materiales de bajo impacto.** Se seleccionaron materiales que tuvieran un menor impacto ambiental, utilizando alternativas que permitieran conservar o mejorar las prestaciones técnicas de la vajilla ecológica.



**Uso de óxidos cerámicos y eliminación del uso de esmaltes de base de plomo.** Se prescindió del uso del plomo en el esmaltado, ya que es un material nocivo para la salud si se tiene contacto repetitivo. Por esta razón se optó por brindar un acabado a las piezas con esmaltes libres de plomo y la técnica de bruñido, tal como se observa

en la Figura 2.

**Figura 2. Bruñido de barro.**

**Reducir el uso de material.** Con la reducción del uso de material también se disminuyó el impacto al medio ambiente, también se redujeron los costes de adquisición, se optimizó su transporte, se aminoró el espacio en el almacén, etc.

**Formas simples.** La forma del producto es muy importante en los procesos de producción, ya que una forma más simple implica un manejo fácil y un desmolde más sencillo, en comparación con piezas complejas. Además, con el uso de formas simples se generarán menos pérdidas y residuos.

**Uso de moldes cerámicos en lugar de moldes de yeso.** Se optó por emplear moldes cerámicos en lugar de moldes de yeso, debido a que son más duraderos y requieren menor cantidad de material.

**Controlar y unificar la materia prima para todas las piezas.** Se emplearon moldes para estandarizar las cantidades de materia prima utilizadas para cada pieza. Con esto se logró tener menos pérdidas evitando variaciones en las dimensiones de las piezas.

**Seleccionar técnicas de producción ambientalmente eficientes.** Con la adecuada selección de técnicas de producción se pudieron usar energías más limpias en el proceso de producción de la vajilla ecológica, además se evitaron la salida de emisiones y desechos.

**Utilizar horno eléctrico.** Para la quema de las piezas de barro artesanal se utiliza normalmente una gran cantidad de leña que es extraída directamente del medio natural. En la Figura 3 se observa el material que es utilizado. La Figura 4 muestra el horno de leña que es utilizado para la producción de vajillas artesanales, dicho horno además de consumir

gran cantidad de energía tiene grandes emisiones de humo y deja residuos de ceniza. En la Figura 5 se presenta el horno eléctrico que fue utilizado para generar la vajilla ecológica, esta máquina solo consume energía eléctrica y no genera otros residuos, en comparación con el horno de leña.



**Figura 3. Leña para horno.**



**Figura 4: Horno de leña.**



**Figura 5: Horno eléctrico.**

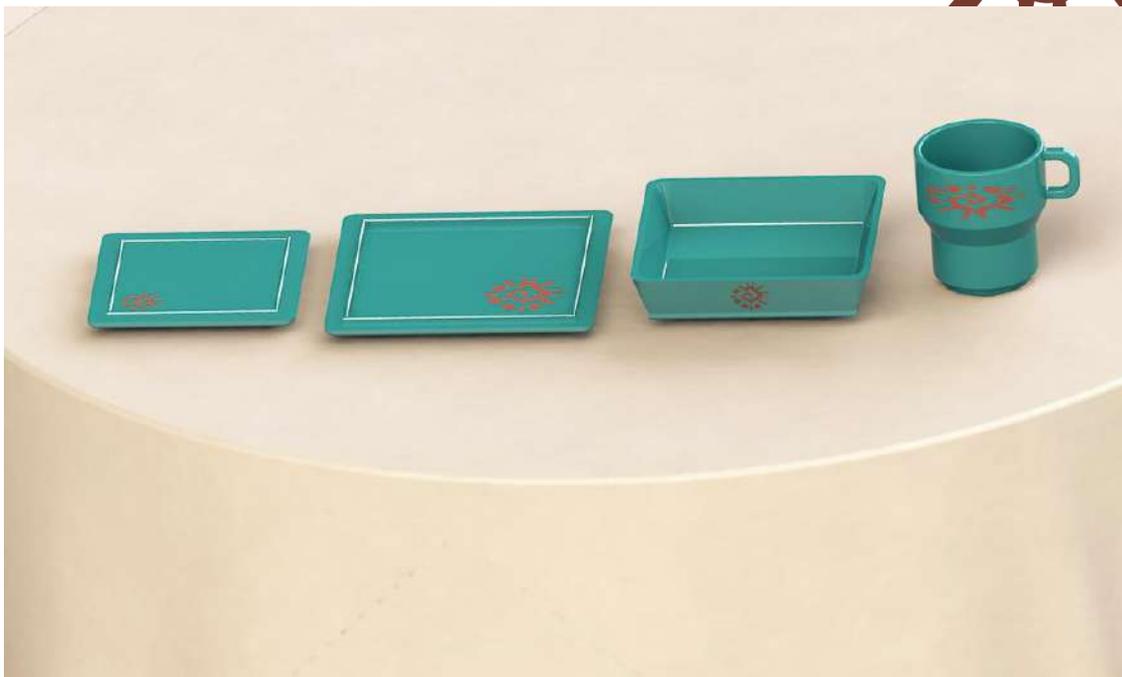
**Opción de adquisición de las piezas por separado.** Los elementos de la vajilla ecológica se podrán adquirir en conjunto o de forma individual. Esto resultará importante ya que cuando se rompa alguna de las piezas, esta podrá ser sustituida, evitando que la vajilla quede incompleta y tenga que ser sustituida por una nueva.

**Incluir sugerencias de reciclado y reutilización de las piezas.** Se incluyeron las siguientes sugerencias para reusar las piezas de la vajilla: como maceta, comedero para mascotas, porta-llaves, porta-maceta, vaso, objeto decorativo, para elaborar mosaicos de pisos y mesas.

#### Etapa 4. Producto en detalle.

##### Diseño de vajilla ecológica de cerámica.

Para el diseño de la vajilla ecológica fue importante proyectar el valor cultural que tiene la cerámica en la región de la mixteca oaxaqueña. Por esta razón se incluyeron elementos gráficos como el de la Figura 6 en su decoración.



**Figura 6. Greca mixteca.**

En la Figura 7 se observan los elementos que componen la vajilla ecológica, los cuales son: plato trinche, plato sobero, plato para postre y taza. No se contempló agregar un plato para la taza, ya que la función que cubre no es primordial. El acabado que poseerán las piezas será una mezcla de bruñido con óxidos, logrando sustituir así a los esmaltes con base de plomo. El diseño de las piezas facilita su apilamiento, disminuyendo así el volumen para su transporte y almacenamiento. En la Tabla 3 se muestra en ACV de la vajilla ecológica.

**Figura 7. Vajilla ecológica de cerámica.**

**Tabla 3. Análisis del Ciclo de Vida de la vajilla ecológica.**

ENTRADAS	CICLO DE VIDA DEL PRODUCTO	SALIDAS (RESIDUOS O EMISIONES)
Materias primas: Arcilla, periódico, agua, cartón, óxidos. Energía: Gasolina.	<b>Obtención y consumo de materiales y componentes:</b> Adquisición de los óxidos y esmaltes. Agua de la red de la comunidad. Extracción de arcilla. Elaboración de barro y secado de barro en pilas. Adquisición de cartón y periódico.	Aguas residuales, aguas grises, emisiones vehiculares de CO <sub>2</sub> .
Materias primas: Agua y lijas. Energía: Energía eléctrica.	<b>Producción en taller</b> Moldeo de las piezas. Secado de piezas a temperatura ambiente. Lijado de las piezas. Esmaltado o bruñido de las piezas. Quema de piezas en horno eléctrico.	Lijas y agua residual.
Energía: Gasolina.	<b>Distribución y venta</b> Embalaje con periódico y cartón. Traslado en transporte público. Venta en expo ferias.	Cartón, periódico, emisiones de CO <sub>2</sub> .
Materias primas: Detergente y agua.	<b>Uso o utilización</b> Servir, trasladar y permitir la ingesta de alimentos y bebidas.	Aguas grises.
	<b>Sistema de fin de vida</b>	

	Reutilización del producto.	
--	-----------------------------	--

#### Etapa 5. Evaluación.

La Tabla 4 presenta la comparación de entradas y salidas del ACV de la vajilla artesanal frente a la propuesta de vajilla ecológica.

**Tabla 4. Entradas y salidas del ACV.**

Etapa	VAJILLA ARTESANAL		VAJILLA ECOLÓGICA	
	ENTRADAS	SALIDAS	ENTRADAS	SALIDAS
<b>Obtención y consumo de materiales y componentes</b>	Materias primas: 1.Arcilla, periódico, agua, yeso, lijas, cartón óxidos y <u><b>esmaltes a base de plomo.</b></u>	Residuos: Yeso, aguas residuales y aguas grises.	Materias primas: Arcilla, periódico, agua, yeso, lijas, cartón, óxidos sin plomo.	Residuos: Yeso, aguas residuales y aguas grises.
	Energía: gasolina y <u><b>biomasa (leña).</b></u>	Emisiones: vehiculares de CO <sub>2</sub> .	Energía: Gasolina.	Emisiones vehiculares de CO <sub>2</sub> .
<b>Producción en taller</b>	Materias primas: Agua.	Residuos: Yeso, lijas, agua residual, <u><b>carbón y cenizas.</b></u>	Materias primas: Agua.	Residuos: Yeso, lijas y agua residual.
	Energía: eléctrica.	Emisiones: <u><b>Humo</b></u>	Energía: Energía eléctrica.	Emisiones:
<b>Distribución y venta</b>	Materias primas:	Residuos:	Materias primas:	Residuos:

		Cartón y periódico.		Cartón y periódico.
	Energía: Gasolina.	Emisiones: vehiculares de CO <sub>2</sub> .	Energía: Gasolina.	Emisiones: vehiculares de CO <sub>2</sub> .
<b>Uso o utilización</b>	Materias primas: Detergente y agua.	Residuos: Aguas grises.	Materias primas: Detergente y agua.	Residuos: Aguas grises.
	Energía:	Emisiones:	Energía:	Emisiones:
<b>Sistema de fin de vida</b>	Materias primas:	Residuos: <u>sólidos de la vajilla.</u>	Materias primas:	Residuos:
	Energía: gasolina.	Emisiones	Energía:	Emisiones

### Resultados obtenidos.

Después de identificar los materiales que son utilizados en la fabricación de piezas de alfarería en San Jerónimo Silacayoapilla, Oaxaca; se encontró el uso de esmaltes de plomo. Dicho material es tóxico y como alternativa se optó por bruñir las piezas con óxidos para la decoración de las piezas. Al efectuar el ACV del producto se determinó que era necesario usar energías alternativas para realizar la quema de las piezas de barro, ya que los hornos artesanales de leña poseen una baja eficiencia térmica. Además, se generan gases de efecto invernadero, cenizas y trozos de carbón como residuos. Otro aspecto que se abordó desde la perspectiva del diseño, fue que mediante la configuración geométrica de la vajilla ecológica se pudo optimizar el espacio para su almacenaje y transporte, además que se logró ahorrar la cantidad y tipo de materiales para su empaque y embalaje.

Como puede observarse en la Tabla 4, en la fase de Obtención y consumo de materiales y componentes se eliminó el uso de esmaltes a base de plomo y la adquisición de biomasa (leña) para la fabricación de la vajilla ecológica.

Por otra parte, en la fase de Producción en taller, se eliminaron los residuos de carbón y ceniza, además de las emisiones de humo debido a que se utilizaron hornos eléctricos en la fabricación de las piezas cerámicas.

Adicionalmente, en la fase de Sistema de fin de vida se logró alargar el CV de las piezas rotas de cerámica proponiendo el siguiente uso alternativo: al quitar el asa de la taza, esta podrá utilizarse como maceta o vaso; el plato hondo podrá utilizarse como comedero para mascotas o porta-llaves; el plato plano podrá utilizarse como porta-maceta; los residuos triturados de la vajilla ecológica podrán utilizarse en la fabricación de tableros o mosaicos para mesas o losetas para piso.

### **Discusión de resultados.**

El desconocimiento y la falta de orientación profesional del Ecodiseño por parte de artesanos en la mayoría de las comunidades del estado de Oaxaca, ha propiciado que sus productos no tengan la proyección necesaria para que puedan abarcar nuevos mercados y representen un negocio rentable. Además, la falta de conocimiento y acatamiento de normas referentes al impacto ambiental en la producción ha perpetuado el uso de procesos y materiales que impactan de forma negativa al medio ambiente y representan un peligro para el bienestar de los ecosistemas y seres vivos. Mediante esta investigación se pudieron identificar aspectos puntuales en el CV de los productos de alfarería fabricados en la comunidad de San Jerónimo Silacayoapilla, Oaxaca; los cuales fueron factibles de modificar para disminuir el impacto ambiental de dichas actividades.

### **Ventajas del proceso artesanal.**

Para la fabricación de la vajilla ecológica se usó una técnica tradicional para obtener el barro, la cual consiste en remojar la arcilla durante 1 día y posteriormente batir la mezcla de forma manual, tal como se muestra en la Figura 8. Posteriormente, como se observa en la Figura 9, el barro se criba sobre una pila, con esto se evitó el uso de energía eléctrica.



**Figura 8 : Batido manual de arcilla.**



**Figura 9: Cribado de barro.**

### **Conclusiones y recomendaciones.**

Esta investigación sentará un antecedente en México, ya que en la mayoría de los talleres artesanales y MiPymes no se aplican normativas y estrategias relacionadas al Ecodiseño, lo cual podría impactar de forma positiva en las características de los productos, y crear a su vez una tendencia en el uso de objetos que sean amigables con el medio ambiente. Con la aplicación del ACV en productos de alfarería en la comunidad de San Jerónimo

Silacayoapilla, Oaxaca; se observó el impacto ambiental en cada una de sus etapas. Cabe señalar, que el uso del ACV ayudó a plantear estrategias para disminuir los impactos ambientales y elegir el barro de la región que, aunque no es biodegradables, es los más adecuados. Además, se logró disminuir el tiempo del proceso productivo al utilizar un horno eléctrico para realizar la quema en lugar de un horno tradicional.

Por otra parte, resalta la aplicación del Ecodiseño como una herramienta que establecerá gran diferenciación de la vajilla artesanal, convirtiéndola en una vajilla ecológica, retomando y perpetuando técnicas y materiales ancestrales a diferencia de las vajillas tradicionales e industriales que solamente se enfocan en el consumo.

#### REFERENCIAS.

1. **Barro Aprobado.** (2014). Obtenido de <http://barroaprobado.org/>
2. **Carvalho, A.** (2001). Análisis del ciclo de vida de los productos derivados del cemento. Universidad Politécnica de Cataluña.
3. **Cerem Comunicación.** (22 de julio de 2016). Cerem. Obtenido de <https://www.cerem.mx/blog/impacto-ambiental-del-sector-ceramico>
4. **Covarrubias Pérez, M., & Estrada Sánchez, D.** (2010). Uso de Plomo en la Alfarería en México. Ciudad de México: FONART.
5. **Espejel, C.** (2014). ¿Arte popular o artesanías? (P. Mora, & J. Arteaga, Edits.) Material de Lectura(11),45.
6. **García Parra, B.** (2008). Ecodiseño: nueva herramienta para la sustentabilidad. México: Designio.
7. **IHOBE.** (2000). Manual práctico de Ecodiseño: Operativa de implantación en 7 pasos. Berenkintza. Ulrich, K. T., & Eppinger, S. D. (2013). Diseño y desarrollo de productos. México: Mac Graw Hill Education.

FFAS

### **2.2.9 Diseño de un dispensador de agua basado en la metodología de ecodiseño.**

#### **Ernestina Moreno Rodríguez <sup>(1)</sup>**

Doctora en Ciencias en Ingeniería Química, trabaja en la Universidad de las Américas Puebla en el departamento de Ingeniería Química y Alimentos. Sus áreas de interés son optimización de proceso químicos, monitoreo de procesos, y procesos biológicos.

#### **Jesús Alejandro Ortiz Cruz <sup>(2)</sup>**

Doctor en Ciencias en Ing. Química por la Universidad Autónoma Metropolitana, Ciudad de México. Actualmente trabaja para la empresa Braskem-IDESIA, empresa comprometida con la sustentabilidad, productora de polietileno de alta y baja densidad.

#### **Rubén Barroso Macías <sup>(3)</sup>**

Tiene una licenciatura en Ingeniería Ambiental por la Universidad de las Américas Puebla, San Andrés Cholula, Puebla, México.

## **Lucía Gonzalez Espinoza <sup>(4)</sup>**

Tiene una licenciatura en Ingeniería Ambiental por la Universidad de las Américas Puebla, San Andres Cholula, Puebla, México.

**Dirección (1):** Calle Sta. Catarina Mártir, San Andrés Cholula, Puebla - Departamento de Ingeniería Química y Alimentos- Código Postal 72810 - País – México Tel.: +52(222) 229 21 26 –

**Email:** ernestina.moreno@udlap.mx)

## **RESUMEN**

En este trabajo de investigación se realizó el diseño de un nuevo producto implementando la metodología de Ecodiseño, con lo que se planteó el desarrollo de un dispensador de agua que adquiere el agua del ambiente y dispensa diferentes volúmenes de líquido para que las personas utilicen botellas no desechables o termos en vez de comprar botellas de plástico desechables para reducir el consumo de recursos naturales sobre la producción de plástico y la producción de residuos. El objetivo del proyecto se centra en el diseño de un equipo dispensador de agua con purificador de tres filtros para agua, con un sistema de refrigeración-condensación de aire para la obtención de agua, empleando herramientas como el Análisis de Ciclo de Vida (ACV), Eco indicadores y la matriz MET.

**Palabras claves:** análisis de ciclo de vida, diseño, ecoindicadores, ingeniería.

## **INTRODUCCIÓN**

En la comisión de Brundtland de 1987 se definió por primera vez el término desarrollo sustentable como "...actividades actuales que satisfacen las necesidades de las generaciones presentes, pero sin comprometer la habilidad de futuras generaciones de satisfacer sus propias necesidades...". A partir de ahí, se fueron desarrollando los valores o principios referentes a la sustentabilidad en donde para tener un equilibrio y poder decir que algo es sostenible se tienen en cuenta los factores económico, social y ambiental.

Sin embargo, aunque ya se van a cumplir 30 años desde que se dio a conocer el término desarrollo sustentable, la industria sigue teniendo una producción en masa, creando productos con un tiempo de vida útil cada vez menor y haciéndolos de materiales

desechables para seguir con la tendencia del consumismo, por ésta razón se desarrollan proyectos y metodologías para darle un enfoque diferente a la industria en el que se tome en cuenta el aspecto ambiental desde el diseño de sus productos como lo es el ecodiseño.

En este trabajo de investigación se realizó el diseño de un nuevo producto implementando la metodología de Ecodiseño [1], con lo que se planteó el desarrollo de un dispensador de agua que adquiere el agua del ambiente y dispensa diferentes volúmenes de líquido para que las personas utilicen botellas no desechables o termos en vez de comprar botellas de plástico desechables para reducir el consumo de recursos naturales sobre la producción de plástico y la producción de residuos.

## **METODOLOGÍA**

Para poder plantear y desarrollar un proyecto por ecodiseño, se necesita definir qué es y qué aspectos implica. El ecodiseño es una metodología para diseñar o rediseñar productos tomando en cuenta el impacto ambiental durante todo su ciclo de vida. Las características de ecodiseño son las siguientes:

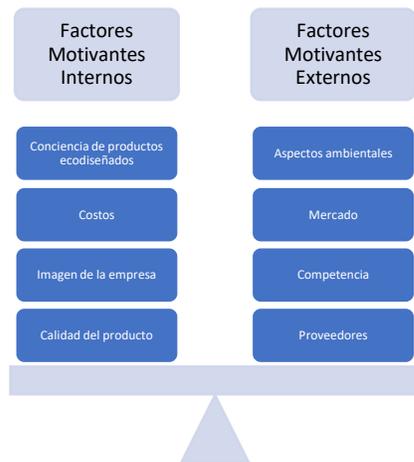
- Impacto desde la microescala hasta la megaescala
- Planteando un concepto de mejora desde el diseño del producto al diseño de la industria
- Cumplimiento de concepto “Ecoeficiencia”
- Tono de diseño verde medio

La primera característica es referente al impacto que se tiene una acción o un producto, el cual puede ser de cualquier magnitud ya sea microscópico o macroscópico pero que al final logra un impacto a gran escala como lo son las personas, la atmósfera, etc. La segunda característica plantea la idea de no crear un producto con las características que se le puedan dar en una industria existente, más bien, el diseñar un producto con las características ideales y en base a ése producto, diseñar la industria ideal para producirlo. Finalmente, el último principio sobre ecoeficiencia, se refiere al mejor aprovechamiento de los recursos (menor uso de éstos) y al mismo tiempo a la reducción de la contaminación. Los estudios de empresas que han introducido el enfoque de ecoeficiencia a través de un programa de producción más limpia han mostrado importantes beneficios financieros, una mejor competitividad y otras ventajas [2]

El Ecodiseño tiene una metodología planteada inicialmente por la norma UNE 150.301:2003 [3], con los siguientes pasos:

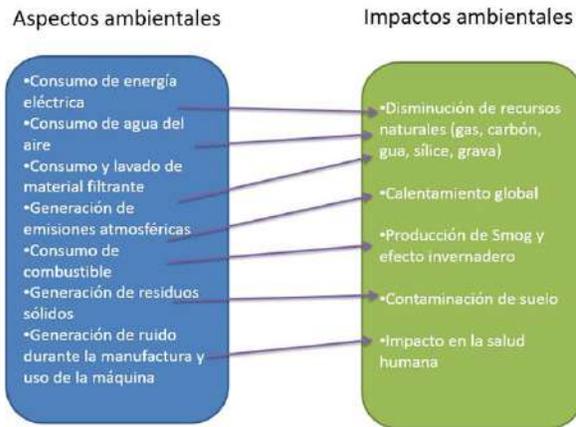
1. Preparación de un proyecto de Ecodiseño.
2. Identificación de aspectos ambientales.
3. Ideas de mejora.
4. Desarrollo de conceptos.
5. Producto en detalle.
6. Plan de Acción
7. Evaluación

De ésta manera, como primer paso de la investigación, se planteó preparar el proyecto que se quiere realizar, en ésta parte se decidió el producto a desarrollar y se plantearon factores motivantes internos y externos (empresa) sobre nuestro producto como se muestran en la figura 1.



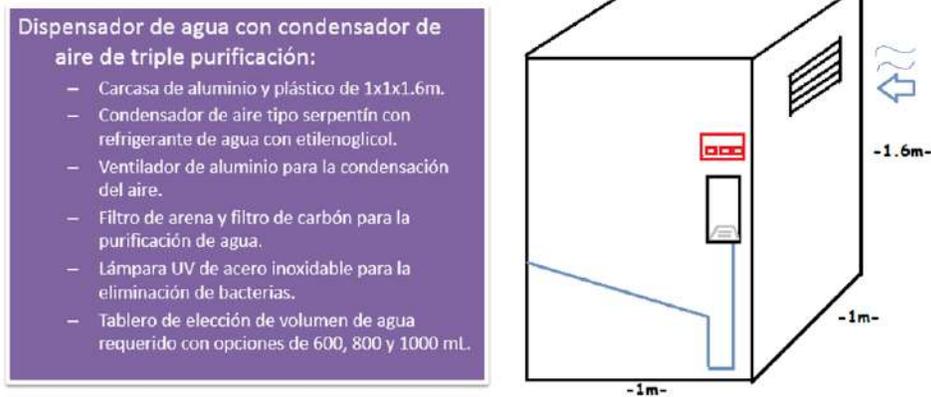
**Figura 1. Factores motivantes**

Asimismo, como parte de las estrategias para la preparación del proyecto de investigación, se analizó el producto como si fuera un sistema con entradas de materias primas y salidas de residuos que se tiene durante el uso del producto para después identificar los aspectos ambientales y los impactos que se piensa que éstos tienen desde la obtención de la materia prima hasta su disposición. En la figura 2 se muestran los aspectos ambientales pensados sobre el dispensador de agua.



**Figura 2. Factores considerados en el equipo dispensador de agua**

Teniendo ya pensados los aspectos e impactos ambientales que implica el producto, se analizaron qué aspectos se podían modificar para que se tuviera un menor impacto, ya sea en el material o en la forma de producción con lo que se desarrolló la descripción general del producto, mostrado en la figura 3.



**Figura 3. Diseño de producto**

En la figura 3 se presenta el dispensador de agua con purificador de tres filtros para agua, con un sistema de refrigeración-condensación de aire para la obtención de agua.

Planteado el proyecto para distribuir en el centro del país de México, donde se tiene una humedad relativa igual o mayor al 50%.

## **ANÁLISIS DEL CICLO DE VIDA**

Como siguiente paso de ecodiseño, se realizó el análisis del ciclo de vida (ACV) del producto planteado. El ACV es un proceso objetivo que nos permite evaluar las cargas ambientales asociadas a un producto, proceso o actividad, identificando y cuantificando tanto el uso de materia y energía como las emisiones al entorno, para determinar el impacto de ese uso de recursos y esas emisiones con el fin de evaluar y llevar a la práctica estrategias de mejora ambiental. Durante el ACV se consideraron las siguientes características:

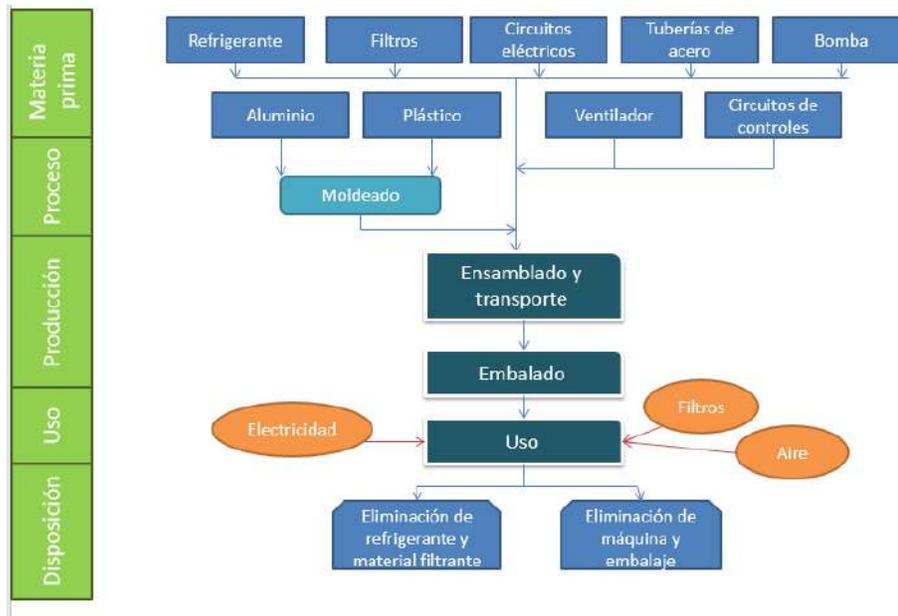
- No hay materiales que sean excluidos arbitrariamente.
- Todas las características ambientales y económicas de un producto se tienen en cuenta.
- Se tiene en cuenta a los impactos generados por los productos intermedios.
- No sólo se evalúa el impacto medioambiental del producto por sí mismo, sino también en el sistema en el que se llevará a cabo.

Al necesitar cubrir los aspectos anteriores, se puede realizar el análisis de ciclo de vida con las siguientes 3 herramientas:

- **Matriz MET:** es una herramienta que ayuda a visualizar de mejor manera los impactos que se tienen en cada etapa del ciclo de vida, pero de manera cualitativa.
- **Ecoindicadores:** son factores numéricos que tienen cierto valor de impacto dependiendo del material o método de transformación, que sirve para medir de manera cuantitativa el impacto de las características del producto
- **Software:** herramienta que analiza cuantitativamente todas las etapas del ciclo de vida y despliega valores numéricos, con él se pueden comparar diferentes materiales y procesos de fabricación.

### **Matriz MET**

Para el análisis del producto, primero se realizó la matriz MET estableciendo las etapas del ciclo de vida y los materiales y acciones implicadas como se presenta en la figura 4.



**Figura 4. Etapas de ciclo de vida**

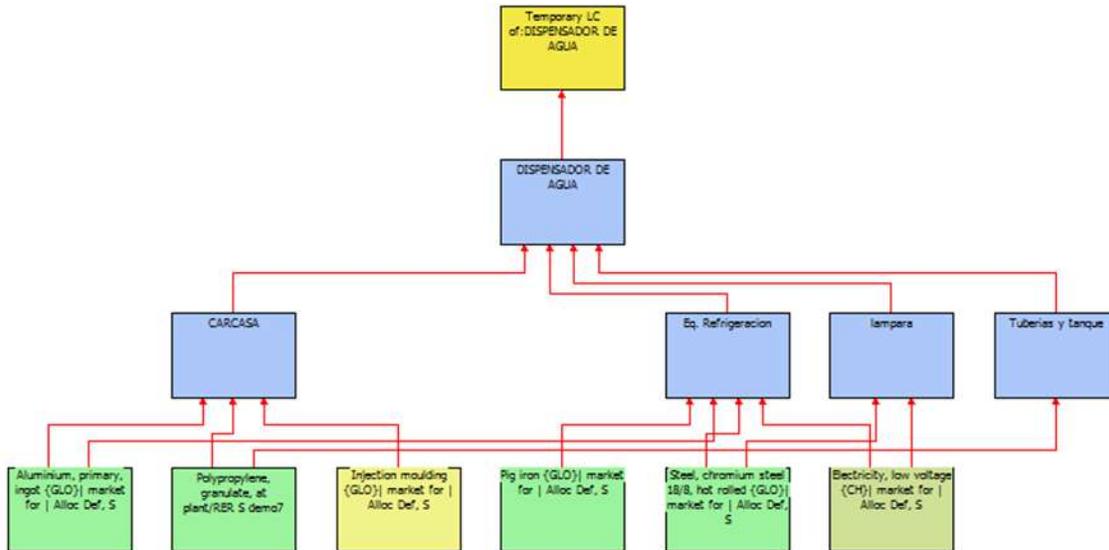
Estableciendo los procesos y los materiales, se realizó la matriz MET de manera más desarrollada, incluyendo en la información sobre la cantidad de material a utilizar, energía y los residuos generados como se puede observar en la Tabla 1.

**Tabla 1. Matriz MET**

Proceso	Uso de Materiales	Uso de Energía	Emisiones tóxicas
Obtención y consumo de Materiales y componentes	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Filtro de carbón activado. 450g de Carbón activado, recipiente de PVC 375g y sellos para conexiones de teflón.</li> <li>-Filtro de sedimentos: 325g de arena sílice, 150g de gravilla, recipiente de PVC 375g, sellos de teflón.</li> <li>-lámpara UV. 2.5kg acero inoxidable</li> <li>-Aluminio 15.45 kg</li> <li>-Refrigerante: agua con etilenglicol 5%</li> <li>-Circuitos o tabla de control</li> <li>-Plástico reciclado</li> <li>-Bomba 7.8kg (hierro)</li> <li>-Tuberías de acero o.5kg</li> <li>-Ventilador (aluminio) 475g</li> <li>-radiador (aluminio) 2.5kg</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Energía para obtención de aluminio y plástico</li> <li>-Transporte de materia prima a la fábrica</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Pirretardantes en tarjetas de circuitos impresos</li> <li>-Emisiones del reciclaje de plástico</li> <li>-Contaminación en la producción del refrigerante</li> </ul>
Producción en fábrica	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Materiales auxiliares para soldadura</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Energía en proceso de moldeado</li> <li>-Energía en máquinas ensambladoras</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Residuos de plástico y aluminio</li> <li>-Residuos de combustible y lubricantes de máquinas</li> </ul>
Distribución	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Embalaje</li> <li>-Papel reciclado para manual. 0.320kg</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Combustible Diesel para transporte: 1 litro cada 16.5km promedio.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Emisiones de la combustión de la gasolina</li> <li>-Residuos de embalaje</li> </ul>
Uso y utilización	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Filtro de carbón activado. 450g de Carbón activado, recipiente de PVC 375g y sellos para conexiones de teflón.</li> <li>-Filtro de sedimentos: 325g de arena sílice, 150g de gravilla, recipiente de PVC 375g, sellos de teflón.</li> <li>-lámpara UV. 2.5kg acero inoxidable</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Lámpara UV. 25W</li> <li>-Bomba de agua: 0.0341 W/h</li> <li>-Pantalla de comando: 5W/h</li> <li>-Refrigerador: 575W/h</li> <li>-Lámpara UV germicida: 15W/h</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Residuos de material filtrante : carbón activado, sílice y gravilla..</li> </ul>
Sistema de fin de vida	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Consumo de materia prima para el tratamiento de residuos de refrigerante</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Consumo de combustible para transporte a centros de disposición final</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Reciclaje de refrigerante</li> <li>-Residuos de material filtrante</li> <li>-Reciclaje de residuo sólido de maquina despachadora de agua</li> <li>-Reciclaje circuitos eléctricos</li> </ul>

## ANÁLISIS CON SIMAPRO

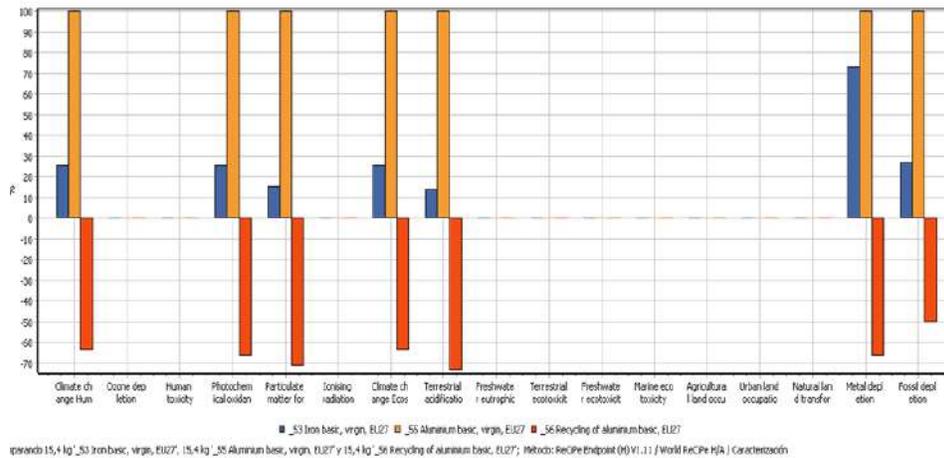
Con lo elaborado anteriormente en la matriz MET, se llevaron a cabo modelos de cálculo de impacto ambiental con el simulador SIMAPRO, el cual tiene herramientas para evaluar el ciclo de vida de un producto o de algún material según los procesos que se siguen para su manufacturación. Se han realizado investigaciones empleando Simapro como herramienta para evaluar el nivel de sustentabilidad de productos: caso de la industria [4], comparación ambiental-económica de materiales [5], Determinación de Impactos Ambientales Significativos durante el Ciclo de Vida de procesos [6], entre otras aplicaciones.



**Figura 5. Análisis de ciclo de vida**

Para iniciar, se crea un organigrama con los materiales y los procesos que conllevan energía para la creación del producto final. Como se puede observar en la Figura 5, en la parte de arriba se muestra el producto final como “DISPENSADOR DE AGUA”, en seguida se muestra cada una de las partes que forman el producto final, en este caso la carcasa, el equipo de refrigeración, la lámpara, y las tuberías y tanques. Para cada una de estas partes, se lleva a cabo el estudio de MET y se introducen los materiales que se ocupan en conjunto con los procesos energéticos.

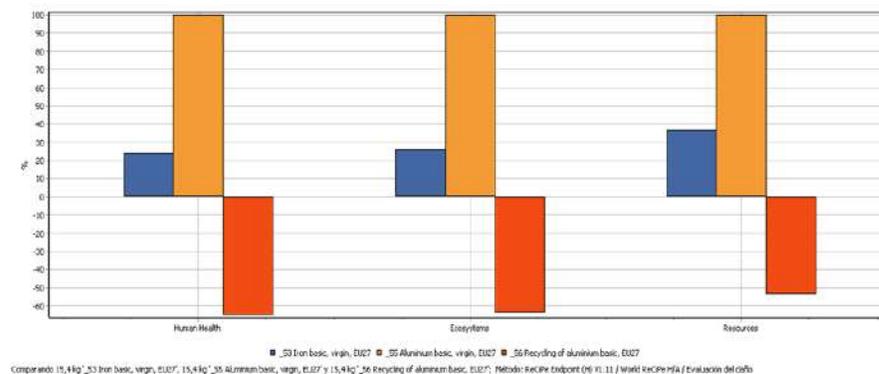
Una vez evaluado el conjunto que lleva el producto, se elabora un estudio de los materiales. En este caso, se lleva a cabo el estudio de los materiales de construcción para la carcasa, donde tenemos como opción la utilización de aluminio convencional, aluminio reciclado y hierro para la estructura. Los métodos de evaluación, varían de acuerdo al conjunto de parámetros que quieras evaluar. De acuerdo con el programa se pueden evaluar hasta 3 materiales dentro de 17 categorías. Esto es el estudio más amplio y se muestra enseguida.



**Figura 6. Caracterización de comparación de carcasa**

Se muestran parámetros como el impacto para el cambio climático, la emisión de partículas, o la ocupación de materiales provenientes de origen fósil.

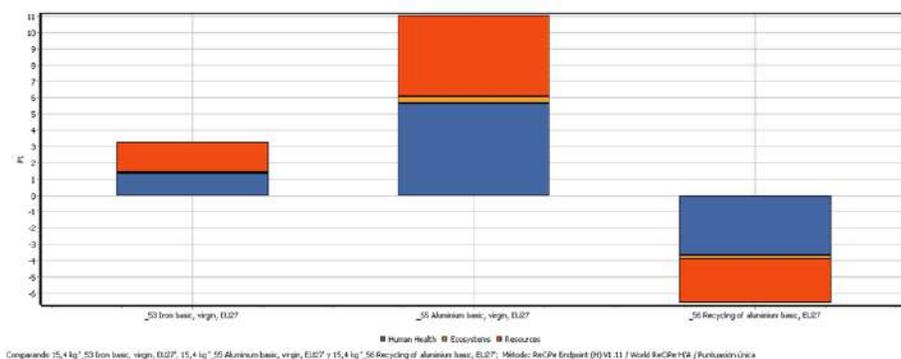
De igual manera, se pueden crear conjuntos de evaluación dependiendo el medio al que se afecta, por ejemplo, en las siguientes dos figuras se muestran los impactos dependiendo si tienen una consecuencia directa a la sociedad, a la ecología o a los recursos naturales.



**Figura 7. Comparación del daño de carcasa**

Es evidente que en ambas graficas se muestra el impacto en los mismos tres ámbitos, salud humana, ecosistemas y recursos, pero en la segunda grafica se muestra una ponderación de evaluación según puntajes de ecosystem 99 de Inglaterra.

Ahora para hacer el impacto más evidente, se hace un conjunto de todas las puntuaciones de impacto y se agrupan en una sola gráfica. Esto da una puntuación total y hace mucho más evidente cuál de los materiales es el que tiene mayores consecuencias.

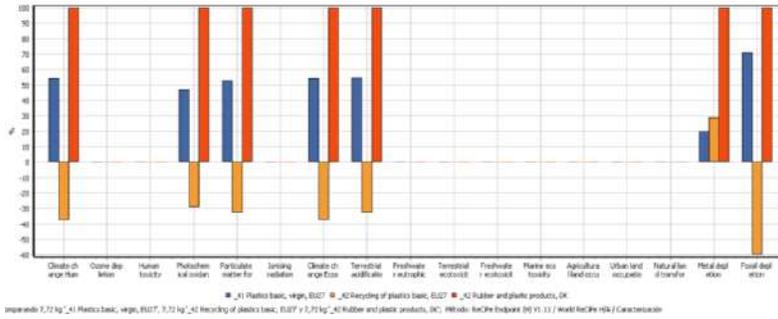


**Figura 8. Puntuación única de comparación de carcasa**

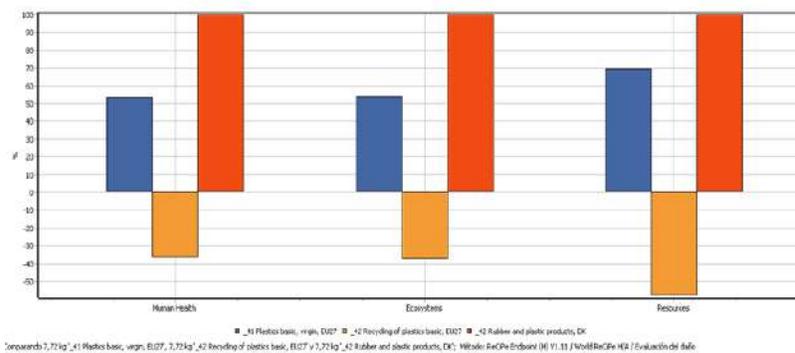
En esta última gráfica, es evidente que la que tiene un mayor impacto negativo en su utilización es el aluminio convencional. Teniendo un impacto mayor en la salud humana y en los recursos mientras que el aluminio reciclado se observa con una ponderación negativa, lo cual nos hace entender que se lleva a cabo una mitigación de algunos impactos con el proceso de reciclado. Se puede interpretar que el aluminio al ser reciclado, aumenta la vida útil del material por lo cual el tiempo de recuperación para los sistemas ambientales se cumple en un periodo mayor y por lo cual no se explotan más los recursos naturales.

De la misma manera se evaluaron tres materiales plásticos para la cubierta de la carcasa, en este caso se evaluaron plástico convencional, plástico reciclado y como el programa demo solo se pudo tener acceso al hule como tercera opción.

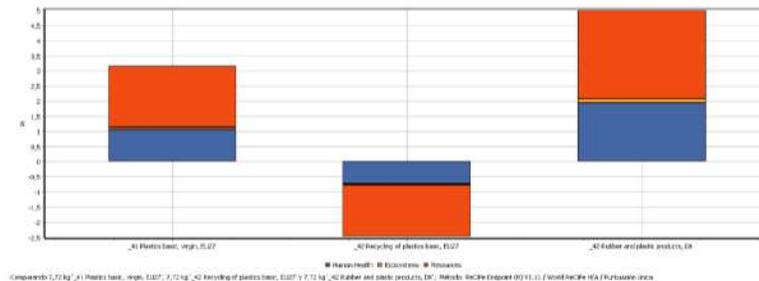
Las gráficas se interpretan de la misma manera y se puede hacer las mismas consideraciones que las anteriores.



**Figura 9. Caracterización de comparación de plástico**



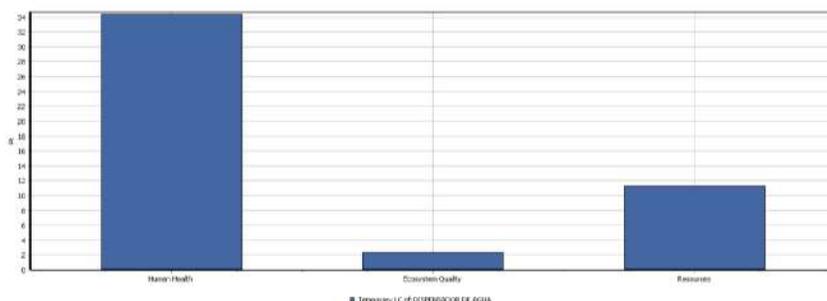
**Figura 10. Comparación del daño de plástico**



**Figura 11. Puntuación única comparación de plástico**

Como se hizo anteriormente, al evaluar el plástico, se llega a la consideración que el plástico reciclado es la mejor opción por sus características ecológicas pues tiene una ponderación negativa en la tabla de impactos únicos. Se puede llegar a la misma consideración y decir que se tiene un tipo de mitigación por darle un tiempo mayor de vida útil al plástico y por no tener que explotar los recursos naturales.

Habiendo evaluado los materiales que se pudieron, se hace el modelo de ciclo de vida y por cada uno de los productos terminados se hace una ponderación en el impacto. Estos se evalúan en un conjunto como los anteriores y se muestran así:



**Figura 12. Impacto en salud, ecosistemas y recursos del producto**

## CONCLUSIONES

Se llevó a cabo el ACV con el software SIMAPRO 8.1.1 y la matriz MET para evaluar la calidad medioambiental del dispensador de agua. En la Tabla 1 se muestra los resultados de la matriz MET, en donde se visualizan los aspectos e impactos medioambientales relacionados con el proceso de producción. Mientras que en las Figuras 6-12 se muestran los resultados del análisis de ciclo de vida (ACV) considerando cada una de las partes que forman el producto final, en este caso la carcasa, el equipo de refrigeración, la lámpara, y las tuberías y tanques. Los resultados del ACV muestran que el aluminio tendrá un mayor impacto tanto la salud humana, ecosistemas y recursos naturales. Por lo cual se optó por definir que el material fuese plástico en lugar de aluminio. Se evaluaron tres tipos de plásticos para la cubierta de la carcasa (plástico convencional, plástico reciclado y hule) concluyendo que el plástico reciclado es la mejor opción por sus características ecológicas pues tiene una ponderación negativa en la tabla de impactos únicos. De esta forma, el diseño del dispensador de agua basado en el Ecodiseño está en equilibrio con el medio ambiente.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

7. Brezet, H. (1997). Ecodesign, a promising approach to sustainable production and consumption. United Nations Environmental Program (UNEP).
8. Leal, J. (2005). Ecoeficiencia: marco de análisis, indicadores y experiencias. CEPAL.
9. Soriano, C. Nueva norma sobre Sistema de Gestión Medioambiental aplicado al diseño y desarrollo de productos. La Norma UNE 150.301:2003. Revista AIDIMA

Informa. 3er Trimestre de 2003. AIDIMA. Instituto Tecnológico del Mueble y Afines. Valencia, España, 2003. pp:7-8.

10. Ayón, F. J. H., Ayón, H. H., & González, J. A. T. (2017). Evaluación del nivel de sustentabilidad de productos: caso de la industria del acero. Red Internacional de Investigadores en Competitividad, 4(1).
11. Braulio-Gonzalo, M., Edo, B., & Dolores, M. (2017). Comparación ambiental-económica de materiales de aislamiento térmico para la envolvente del edificio a fin de reducir la demanda energética.

Bernal Díaz, J. I., & Rugeles Cano, Z. A. (2018). Determinación de Impactos Ambientales Significativos durante el Ciclo de Vida del Uniforme Asistencial no. 4 Policía Nacional, Complejo DIPON

#### **2.2.10 Lineamientos técnicos para el diseño de sistemas de captación de agua de lluvia para las edificaciones del área metropolitana de Guadalajara.**

##### **José Guadalupe Jiménez Pérez**

Arquitecto por la Universidad de Guadalajara, Curso Diseño sustentable en la Universidad Panamericana campus Guadalajara, Maestría en Proyectos y Edificaciones sustentables por el ITESO, 10 años de experiencia laboral en diseño y construcción, director operativo del Inst. de Inv. Tec. del Agua (IITAAC).

**Dirección:** Fco. I Madero #710 - Col. Americana – Guadalajara - Jalisco – CP. 44160 - México - Tel.: (+52) 331-2201177 – e-mail: [pe711434@iteso.mx](mailto:pe711434@iteso.mx)

## RESUMEN

Con esta investigación se busca determinar los lineamientos técnicos para el diseño y construcción de Sistemas de Captación de Lluvia (SCALL) para las edificaciones del Área Metropolitana de Guadalajara (AMG), con el propósito de ayudar a realizar la captación de agua de lluvia sin riesgos para la salud, coadyuvando en el abasto de agua potable, la disminución de inundaciones, la recuperación de los mantos acuíferos y contribuyendo con la gestión integral del agua a nivel local y global. Se trabajará en la recopilación de información documental y empírica para obtener datos que ayuden con la determinación de las características particulares del AMG.

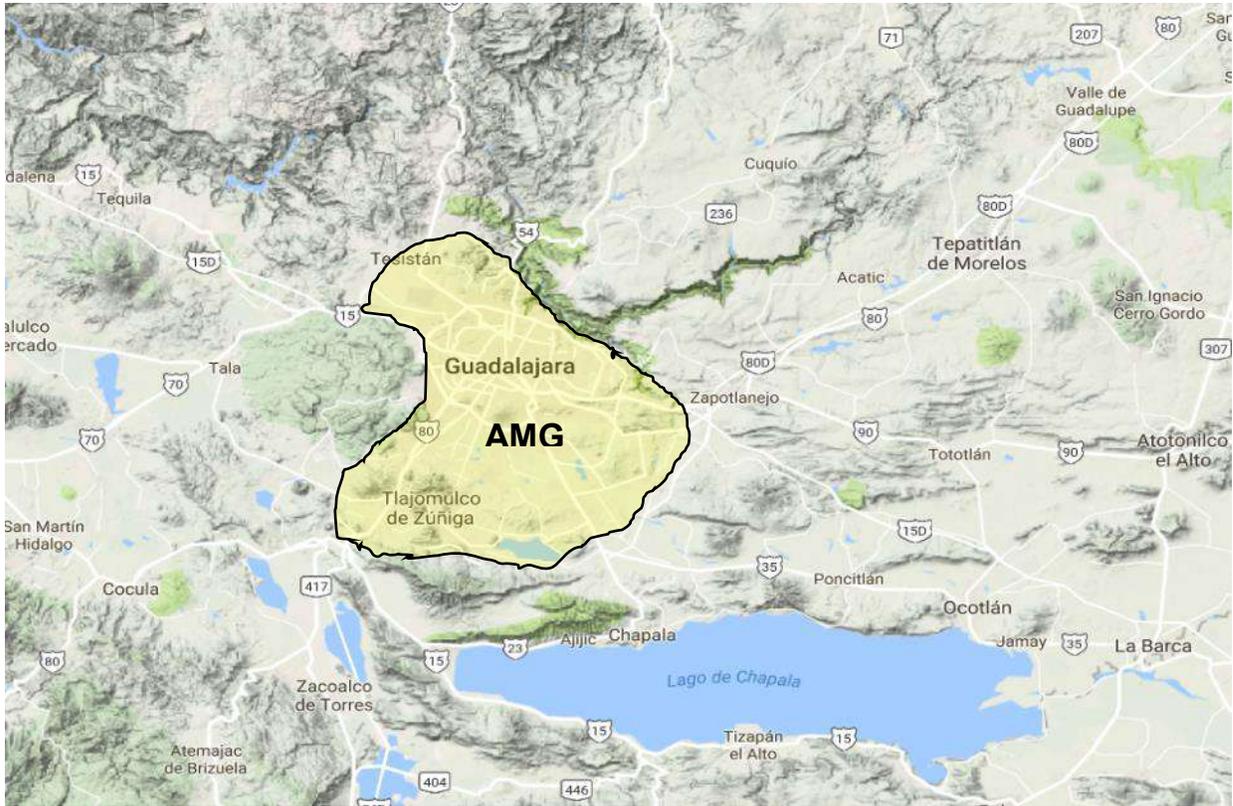
**Palabras claves:** Ciclo hidrológico, Escasez, Inundaciones, Agua de Lluvia, Sistema de captación de agua de lluvia.

## INTRODUCCIÓN

En el presente trabajo se analiza la posibilidad de implementar los sistemas de captación de agua de lluvia (SCALL) en el Área Metropolitana de Guadalajara (AMG) como parte de un nuevo modelo de gestión del agua en el marco del cambio de paradigma que exige el desarrollo sustentable, se aborda la importancia del agua para el desarrollo del ser humano y los ecosistemas de los que depende para su subsistencia así como los impactos negativos que ha generado el modelo de gestión actual. Además, se espera que el resultado sirva para dar un paso adelante hacia un modelo de gestión del agua menos agresivo con el ciclo hidrológico y que considere que los recursos naturales también son para las generaciones futuras.

## ZONA DE ESTUDIO

El Área Metropolitana de Guadalajara (AMG) se encuentra ubicada en el centro del Estado de Jalisco, está integrada por los municipios de San Pedro Tlaquepaque, Tonalá, Zapopan, Tlajomulco de Zúñiga, El Salto, Juanacatlán, Ixtlahuacán de los Membrillos y la capital del estado, es Guadalajara. Como aparece en la figura II.2 se encuentra en la Latitud: 20° 36' 40" - 20° 45' 00" N y Longitud: 103° 16" 00" - 103° 24' 00" O y en una Altitud: 1,700 msnm. Tiene una población de 5, 000,000 habitantes y su extensión es de 2,734.1 km<sup>2</sup> figura 1(Gobierno del estado de Jalisco, 2016).



**Figura 1. Área Metropolitana de Guadalajara (Elaboración propia con información de Google Maps, 2017).**

El AMG tiene un clima semi-cálido, con una temperatura media anual por encima de los 18°C y un promedio de lluvia de 953 mm/m<sup>2</sup> al año. El periodo regular de lluvias se encuentra entre los meses de junio y octubre con promedios de lluvia, especificados en la tabla 1 (González, Loza y Gómez, 2010).

**Tabla. 1. Precipitación pluvial en el AMG 1970-2006 expresada en mm/m<sup>2</sup> (González, 2010).**

ESTACIÓN	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
Guadalajara	16.7	5.1	6.5	5.0	23.4	202.9	278.1	223.0	171.9	54.5	14.8	7.5	1009.4
Zapopan	17.2	5.7	4.4	9.0	20.3	196.5	275.1	221.0	179.1	58.0	9.8	6.0	1002.0
La Experiencia	18.7	5.2	2.3	3.9	20.8	184.0	249.3	201.4	147.9	55.8	19.9	8.7	918.0
Tonalá	4.5	2.5	3.4	4.1	26.8	171.0	196.6	182.5	120.2	48.9	13.1	4.9	778.5
Tlaquepaque	14.6	6.4	3.2	4.0	39.5	204.6	254.7	229.3	176.2	66.2	12.3	6.4	1017.4
Guadalajara Colomos	16.7	6.5	2.5	4.7	20.5	181.6	256.5	219.2	207.4	54.3	16.4	7.4	993.7
<b>PROMEDIO</b>	14.7	5.2	3.7	5.1	25.2	190.1	251.7	212.7	167.1	56.3	14.4	6.8	<b>953.2 mm/m<sup>2</sup></b>

Los datos expuestos muestran que el AMG cuenta con características favorables para la captación del agua de lluvia por los menos cinco meses al año. En el periodo de lluvias, dependiendo de la capacidad de almacenaje y de la demanda que se tenga pudiera ser una fuente de abasto alternativo a la red municipal.

## JUSTIFICACIÓN

### EL AGUA DE LLUVIA COMO FUENTE ALTERNATIVA DE AGUA POTABLE

La captación del agua de lluvia en las edificaciones del AMG, para utilizarla en las necesidades domésticas ayudaría a complementar las fuentes que la abastecen de agua potable actualmente y que en ocasiones no son suficientes para cubrir la demanda de la ciudad. Es el caso de la situación que se presentó en el AMG el mes de marzo de 2018, donde aproximadamente 60 colonias tuvieron problemas de abasto debido al incremento en el consumo, por la elevación en la temperatura del ambiente y por la disminución en el flujo proveniente del sistema Antiguo de Atequiza, que es una de las vías por las que es enviada el agua del lago de Chapala a la ciudad, en la que es necesario desazolvar partes del Río Santiago para mejorar la conducción hacia la ciudad (SIAPA, 2018).

### CAPTACIÓN DEL AGUA DE LLUVIA COMO ESTRATEGIA CONTRA LAS INUNDACIONES

La captación de agua de lluvia en las edificaciones del AMG, realizada de forma extensa, ayudaría a equilibrar los problemas ocasionados por la alteración del medio físico natural y que su representación más visible son las inundaciones. La modificación de las superficies que integran las diferentes cuencas comprendidas dentro del AMG ha ocasionado que el comportamiento de los escurrimientos cause dichos estragos. Tales alteraciones son por ejemplo la urbanización que propicia la impermeabilización de áreas que anteriormente eran verdes y la pérdida de masa forestal, impidiendo que el comportamiento del agua sea similar al que sucedía antes de que la superficie sufriera las modificaciones pues ya no es posible que el agua se infiltre al subsuelo o se retenga en las copas de los árboles para luego evapo-transpirar hacia el ambiente y acelerando el curso del agua pluvial hacia las partes bajas de la cuenca. Es por eso que la implementación de la captación del agua de lluvia en las partes que ya han sido modificadas ayudaría a retener importantes

volúmenes de agua a lo largo de toda la cuenca evitando que ésta salga a las calles a contribuir con el problema de las inundaciones.

## **OBJETIVO**

Elaborar los lineamientos técnicos para el diseño y construcción de sistemas de captación de agua de lluvia en las edificaciones del AMG, con el propósito de ayudar a realizar la captación de forma segura, coadyuvando en el abasto de agua potable, la disminución de inundaciones, la recuperación de los acuíferos y contribuyendo con la gestión integral del agua a nivel local y global.

## **MARCO TEÓRICO**

### **DESARROLLO SOSTENIBLE**

El desarrollo sostenible es el concepto base y fundamental para esta investigación. La situación actual requiere de un cambio en la forma en que el mundo se ha desarrollado hasta hoy. Desde mediados del siglo XX diferentes investigaciones han demostrado el impacto negativo de las actividades antropogénicas en el medio ambiente, pero el concepto de desarrollo sostenible aparece con fuerza hasta 1987 con los resultados del informe Brundtland Nuestro futuro común en el que se define como “el desarrollo que satisface las necesidades actuales sin comprometer la capacidad de las futuras generaciones de satisfacer sus propias necesidades” (UNESCO 2012, p. 91).

### **AGENDA XXI**

La Agenda XXI es un plan de acción exhaustivo que ha sido adoptado universal, nacional y localmente por organizaciones del Sistema de las Naciones Unidas, gobiernos y grupos principales de cada zona, en la cual el ser humano ha tratado de influir en el medio ambiente. La Agenda 21, fue firmada por más de 178 países en la Conferencia de Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo (UNCED), que tuvo lugar en Río de Janeiro, Brasil entre el 03 y el 14 de junio de 1992. (ONU, 1987).

### **GESTIÓN INTEGRADA DE LOS RECURSOS HÍDRICOS**

La Gestión Integrada de los Recursos Hídricos (GIRH) es considerada por las Naciones Unidas como un concepto empírico que nace en la experiencia de campo de los profesionales. Digamos que agrupa ideas que han estado presentes desde los primeros trabajos en pro del cuidado del agua, pero hasta 1992 en la Cumbre Mundial sobre Desarrollo Sostenible en 1992 en Río, el concepto de GIRH fue tomado en cuenta. De acuerdo con la Asociación Mundial para el Agua (GWP, 2011)

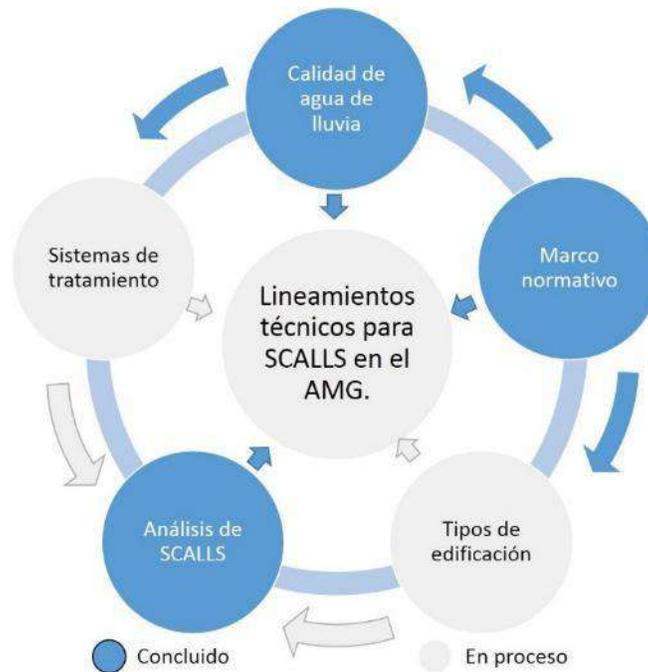
### **GESTIÓN INTEGRADA DE AGUAS URBANAS**

De manera más específica existe el concepto de La Gestión Integrada de Aguas Urbanas que según GWP consiste en manejar el sistema completo del recurso hídrico urbano como parte de una estructura coherente. Considera como políticas y disposiciones institucionales, entre otras acciones, la recolección del agua de lluvia en la ciudad y los techos de las viviendas, como una manera de incrementar el suministro local de agua y recargar las reservas de aguas subterráneas, mitigando simultáneamente los problemas de inundaciones en algunas áreas. Estas medidas podrían ser una solución inmediata para acompañar las mejoras de largo plazo de la infraestructura para el suministro de agua y los sistemas de drenaje (GWP, 2011).

## **METODOLOGÍA**

Este proyecto fue abordado bajo el enfoque del paradigma de la complejidad que ayuda en la comprensión de los fenómenos como resultado de un conjunto de acciones e interacciones. Dentro de este esquema general se utilizarán: la metodología cualitativa, aplicando los métodos hermenéutico-inductivos con las técnicas de revisión documental, observación, clasificación y estudio de los hechos para obtener información de las fuentes documentales. También se usó la metodología cuantitativa, con los métodos analíticos descriptivos y estadísticos, aplicando las técnicas de mapeo del territorio, entrevistas y estadístico inferencial con las que se buscará obtener datos que ayuden con la determinación de las necesidades y características particulares del AMG.

Para el diseño metodológico se elaboró un plan de trabajo que tuvo como ejes principales el análisis de los sistemas existentes en diferentes partes del mundo, los análisis de la zona de estudio, el estudio del marco normativo aplicable, los tipos de edificaciones presentes en el área de estudio, la determinación de la calidad del agua de lluvia, el diseño del SCALL y el método de tratamiento adecuados para el AMG, además de la integración de los resultados para la elaboración de los lineamientos técnicos figura 2.

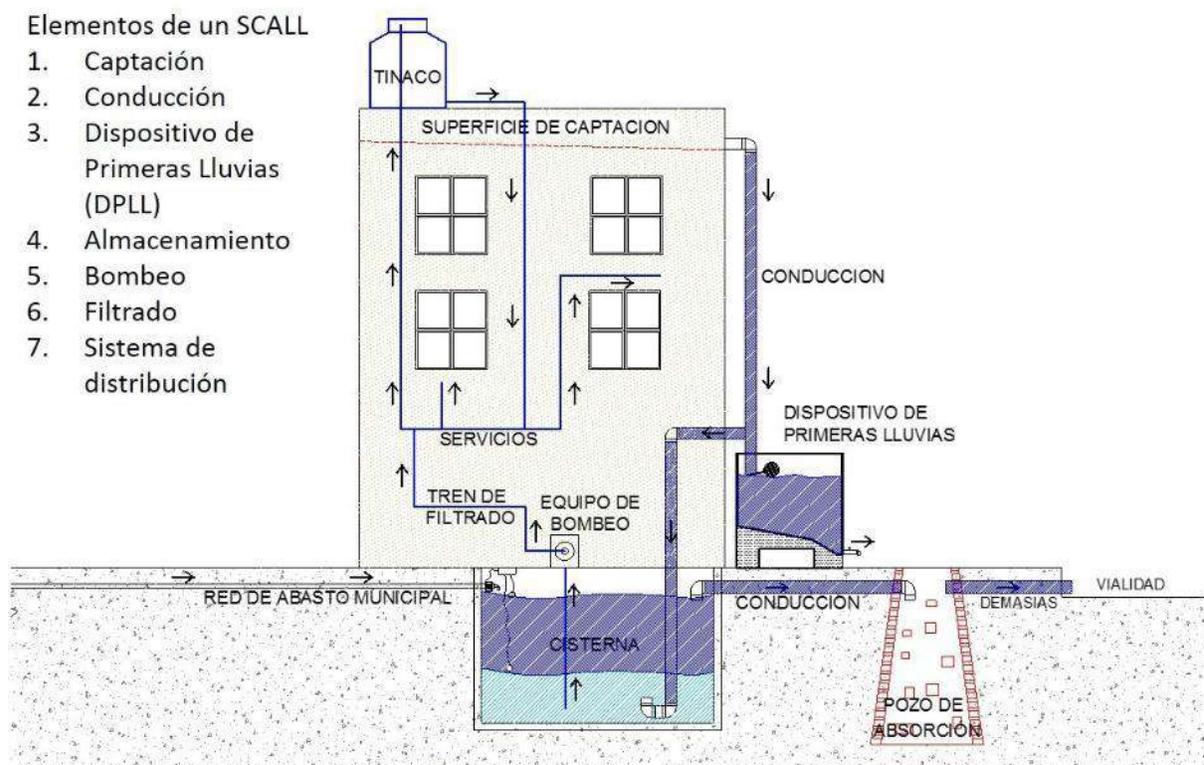


**Figura 2. Proceso metodológico.**

### **QUÉ ES UN SISTEMA DE CAPTACIÓN DE AGUA DE LLUVIA**

Un sistema de captación de agua de lluvia se define como “Un sistema hidráulico para la recolección y uso del agua de lluvia, consiste en una cisterna(s), tuberías, accesorios, bombas, y otros accesorios de fontanería requeridos para la captación y distribución del agua de lluvia” (ARCSA, 2013). Un sistema de captación de agua de lluvia de manera general está integrado por: área de captación; puntos de recolección, (canaletas y coladeras de los bajantes); conducción; interceptor de primeras lluvias; almacenamiento, (cisterna), y tratamiento. Tiene como propósito captar el agua de lluvia en las azoteas, conducirla y aprovecharla como fuente alterna de agua potable para el uso doméstico.

Para mayor comprensión de cómo se integra este sistema, se agrega un diagrama de flujo y elementos componentes de un SCALL en la Figura 3.



**Figura 3. Diagrama de flujo y elementos que componen un SCALL. (Elaborado con base a los esquemas descritos por ARCSA, Isla Urbana y Gleason).**

### **MARCO NORMATIVO**

#### **CONSTITUCIÓN POLÍTICA DE LOS ESTADOS UNIDOS MEXICANOS**

Artículo 4°. Toda persona tiene derecho al acceso, disposición y saneamiento de agua para consumo personal y doméstico en forma suficiente, salubre, aceptable y asequible. El Estado garantizará este derecho y la ley definirá las bases, apoyos y modalidades para el acceso y uso equitativo y sustentable de los recursos hídricos, estableciendo la participación de la Federación, las entidades federativas y los municipios, así como la participación de la ciudadanía para la consecución de dichos fines.

#### **LEY GENERAL DEL EQUILIBRIO ECOLÓGICO Y LA PROTECCIÓN AL AMBIENTE**

Artículo 17 TER.- Las dependencias de la Administración Pública Federal, el Poder Legislativo Federal y el Poder Judicial de la Federación, instalarán en los inmuebles a su cargo, un sistema de captación de agua pluvial, debiendo atender los requerimientos de la zona geográfica en que se encuentren y la posibilidad física, técnica y financiera que resulte conveniente para cada caso. Esta se utilizará en los baños, las labores de limpieza de pisos y ventanas, el riego de jardines y árboles de ornato.

## **LEY DE AGUAS DEL ESTADO DE JALISCO**

Artículo 16. La formulación, promoción, instauración, ejecución y evaluación de la programación hídrica en el Estado comprenderá, al menos:

VIII. La captación, tratamiento y uso eficiente del agua pluvial como recurso alterno.

Artículo 86-Bis. Toda ocupación que se genere superficies impermeables, deberá poseer un dispositivo de control del escurrimiento del agua de origen pluvial. Serán consideradas áreas impermeables todas las superficies que no permitan la infiltración del agua hacia el subsuelo.

## **CÓDIGO URBANO PARA EL ESTADO DE JALISCO.**

Artículo 212. Toda acción urbana que requiera infraestructura para su incorporación o liga con la zona urbana deberá contemplar por lo menos:

II. El drenaje y alcantarillado; prever la planta o sistema de tratamiento de aguas residuales y manejo de aguas pluviales para la recarga de los mantos acuíferos o la aportación económica correspondiente cuando esté prevista la construcción de sistemas de tratamiento, los cuales deberán sujetarse a las disposiciones vigentes en materia ambiental.

## **NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-127-SSA1-1994**

Esta Norma Oficial Mexicana establece los límites permisibles de calidad y los tratamientos de potabilización del agua para uso y consumo humano, que deben cumplir los sistemas de abastecimiento públicos y privados o cualquier persona física o moral que la distribuya, en todo el territorio nacional.

Los parámetros a medir se dividen en tres grupos:

- 1.- Límites permisibles de características microbiológicas.
- 2.- Límites permisibles de características físicas y organolépticas.
- 3.- Límites permisibles de características químicas.

Con el marco normativo aplicable en la zona, se descubre que no existen limitantes importantes para la implementación de los sistemas, más bien se observa una reciente apertura a considerar el tema como parte de la solución a los problemas del agua sin que aún se cuente con una estrategia clara para su aplicación.

## **CATEGORIZACIÓN DE LAS TIPOLOGÍAS EDIFICATORIAS.**

Para iniciar el diseño de cualquier proyecto es indispensable conocer las necesidades que se espera que cumpla. Con este apartado se pretende definir los requerimientos para un SCALL que pueden surgir del hecho de pertenecer a un tipo de edificación, dicha categorización está fundamentada en la en la normativa aplicable en el área de estudio.

Es necesario partir de que, como se expresa en el código urbano del estado de Jalisco, para el ordenamiento de los asentamientos humanos es necesario considerar la zonificación de acuerdo con las características que permitan el mejor uso para cada territorio y así una vez definida el área a urbanizar zonificarla de tal forma que se cumpla con las previsiones, reservas, provisiones y distribución de usos de suelo que permitan que los centros urbanos funcionen de forma eficiente (Gob Jal 2008).

A ésta lógica de zonificación del territorio debiera seguir la elaboración de proyectos de urbanización que respeten los usos de suelo que han sido marcados en el plan ordenamiento territorial utilizando la normatividad para las tipologías edificatorias propuestas en el reglamento de Zonificación del Estado de Jalisco. Ésta clasificación define diez géneros arquitectónicos que son:

- 1.- Edificios para vivienda
- 2.- Edificios para comercios y oficinas
- 3.- Edificios para industrias y almacenamiento
- 4.- Edificios para la educación
- 5.- Edificios para la salud y asistencia social
- 6.- Edificios para la cultura y recreación
- 7.- Instalaciones deportivas
- 8.- Edificios para estacionamiento de vehículos
- 9.- Edificios para servicios diversos
- 10.- Estaciones de servicio o gasolineras

#### **ANÁLISIS DE LA CALIDAD DE AGUA DE LLUVIA**

Para que el agua de lluvia pueda ser utilizada como agua potable se requiere saber su calidad y aplicar el sistema de tratamiento ideal. Según la Organización Mundial de la Salud (OMS) el agua contaminada puede transmitir enfermedades como la diarrea, el cólera, la disentería, la fiebre tifoidea y la poliomielitis. Se calcula que la contaminación del agua potable provoca más de 502, 000 muertes por diarrea al año (OMS, 2016) por esta razón se debe tener mucho cuidado con el agua que se utilice en los domicilios, aunque ésta no sea ingerida por las personas y se destine para los servicios de aseo personal y de limpieza de la casa.

#### **ESTUDIOS DE LA CALIDAD DE AGUA DE LLUVIA EN DIVERSAS REGIONES.**

##### **SUR DE AUSTRALIA**

Entre 2007 y 2008 se realizó un estudio en el Sur de Australia, en la ciudad de Adelaida, el objetivo fue conocer si el consumo de agua de lluvia no tratada afectaba la salud de las personas que la consumían, los resultados demostraron que no hubo afectaciones a la salud. A continuación, un breve resumen del estudio mencionado.

En junio de 2007 y agosto de 2008 se realizó un ensayo controlado aleatorizado, doble ciego, en Australia del Sur. Se reclutó a 300 hogares que usaban agua de lluvia no tratada como su fuente de agua potable habitual. Los hogares participantes recibieron una intervención real o una falsa para el filtrado de toda el agua destinada a beber o cocinar.

Al inscribirse, se obtuvo el consentimiento informado por escrito de todos los miembros adultos del hogar y de los padres o tutores en nombre de los niños. Un miembro adulto de cada hogar fue designado como el participante informante y fue responsable de asegurar la realización de un diario de salud semanal para cada participante. Esto implicaba el registro de síntomas de diarrea, vómitos, náuseas, dolores abdominales y fiebre....

Las conclusiones de este estudio sugieren que el consumo de agua de lluvia no tratada no contribuye apreciablemente a la gastroenteritis comunitaria. Sin embargo, nuestros hallazgos pueden no ser

generalizables a personas susceptibles o inmunocomprometidas debido a que estos grupos fueron específicamente excluidos del estudio (Leder, Cunliffe, Forbes, Shelly y Sinclair, 2009) (Traducción propia).

## **COLOMBIA**

De igual forma en el 2012 en Colombia se realizó un estudio de calidad de agua de lluvia para su uso potable obteniendo resultados favorables para su utilización como fuente alterna sin necesidad de aplicarle tratamientos complicados.

El artículo presenta los resultados del proyecto de investigación Evaluación de la calidad del agua lluvia para su aprovechamiento y uso doméstico en la ciudad de Ibagué realizado en la Universidad Cooperativa de Colombia, sede Ibagué, en el 2012. El problema de investigación partió del interés por estudiar el potencial de aprovechamiento del agua de lluvia como fuente alternativa para uso doméstico a partir de la determinación de sus condiciones fisicoquímicas y microbiológicas.

La investigación comprendió ocho estaciones de muestreo donde se recogió agua sin contacto con superficie alguna. La caracterización incluyó la medición de turbidez, color aparente, pH, conductividad, temperatura, nitratos, alcalinidad total, cloruros, aluminio, dureza total, hierro total, sulfatos y coliformes totales. Los análisis efectuados demostraron que la composición físico química es susceptible de potabilización al no encontrar niveles temibles de contaminación. Al contrario, la mayoría de los parámetros analizados están dentro de los rangos exigidos para el agua potable exceptuando el pH y turbiedad en algunos puntos de muestreo.

Los resultados de las pruebas demostraron la factibilidad de su aprovechamiento aplicando un proceso de tratamiento convencional que permita remover algunos contaminantes detectados, como coliformes totales, reducción de turbiedad y neutralización del pH por presentar valores bajos como evidencia de agua ligeramente ácida (Ospina y Ramírez, 2014).

## **CIUDAD DE MÉXICO**

En la Ciudad de México se realizó otro estudio para determinar la calidad del agua captada en una vivienda basándose en algunos parámetros de la NOM 127-SSA1-1994, que es el referente en el país para catalogar el agua potable, obteniendo resultados favorables. A continuación un resumen del estudio:

Este trabajo desarrolla un estudio de calidad de agua de lluvia captada en una casa de una zona semiurbana ubicada al sur-poniente de la Ciudad de México con base en algunos parámetros sobresalientes de la norma de calidad de agua potable de México (NOM-127-SSA1-1994), como: turbiedad, color verdadero, sólidos sedimentables, sólidos suspendidos totales, coliformes totales, coliformes fecales, conductividad eléctrica, pH, sulfato, nitrato, cloruro y sodio. Los resultados fueron favorables en la mayoría de los casos y permiten proponer a la lluvia como una potencial fuente de autoabastecimiento a nivel doméstico y a los sistemas de captación como sistemas descentralizados para el tratamiento del agua (García, 2011).

## **ÁREA METROPOLITANA DE GUADALAJARA**

Existe un estudio realizado en el AMG donde se analizaron las propiedades físico-químicas del agua de lluvia y se buscó determinar patrones de comportamiento de la "Lluvia Ácida" dentro de la extensión de la ciudad. Los resultados encontraron una tendencia a la alza en los niveles de PH con

apenas el 10% de lluvia ácida de todo el periodo muestreado (García, 2004). A continuación un resumen del estudio mencionado:

La Zona Metropolitana de Guadalajara (ZMG) a raíz de un intenso desarrollo urbano e industrial desde la segunda mitad del siglo XX, ha presentado graves problemas de contaminación ambiental y en particular, la presencia de lluvias ácidas. Por primera vez en la ZMG, se lleva a cabo un estudio sistemático para la determinación de contaminantes en el agua de lluvia (Lluvia ácida). Para ello, se implementó una red pluviométrica con 17 estaciones distribuidas homogéneamente. En este trabajo se analizaron los temporales en el periodo 1994-2002, en el intervalo de tiempo de junio a septiembre y la influencia de las condiciones dinámicas de la atmósfera en el transporte y depósito de sustancias ácidas... Los resultados permitieron evidenciar que la contaminación atmosférica ha modificado la naturaleza química de la lluvia. Asimismo, se observó gran variabilidad en la frecuencia de lluvia ácida con tendencia a incrementar su concentración, mostrando la distribución del PH en todo el periodo, un predominio hacia la región Oeste de la ZMG. Además, la dinámica atmosférica en este periodo (Vientos del Este) favoreció el transporte y dispersión hacia el Centro-Oeste de la ZMG (García, 2004).

### **ESTUDIO DE CALIDAD DE AGUA DE LLUVIA EN EL AMG**

El presente estudio se realizó durante esta investigación, en él se elabora un análisis del agua de lluvia de tres viviendas ubicadas dentro de puntos estratégicos del AMG. El objetivo es conocer que calidad del agua se puede obtener de la captación de la lluvia cuando ésta haya tocado la azotea de las viviendas en los tres puntos representativos del AMG, con respecto a los estándares marcados por la NOM 127-SSA1-1994, que es el referente en el país para catalogar el agua potable. La selección de los puntos de muestreo se determinó de acuerdo al potencial de contaminación que pueden alcanzar, buscando sean representativos de lugares con los mayores índices de contaminación atmosférica figura 4 y 5. Los análisis fueron realizados en el laboratorio de la Comisión Estatal del Agua de Jalisco, que cuenta con certificación EMA (Entidad Mexicana de Certificación).

Al final del estudio realizado, se logró hacer quince análisis de muestras de lluvia tomadas en los domicilios seleccionados dentro del AMG. De estos estudios cuatro corresponden a el punto M-01 ubicado en Miravalle, cuatro al punto C-02 ubicado en el centro de Guadalajara, cuatro al punto P-03 ubicado en la colonia Paraísos del Colli y tres al punto LL-04 recolectados en un dispositivo de lámina galvanizada para que la muestra representara, lo más cercano posible la calidad del agua de lluvia a su paso por la atmosfera. Los resultados sugieren que es factible potabilizar el agua de lluvia sin necesidad de realizar gastos significativos para su tratamiento.



Figura 4. Ubicación de puntos de muestreo. (Elaborado con información de Google Maps, 2017).

Limpieza de azotea en punto **M-01**.



Limpieza de azotea en punto **C-02**.



Limpieza de azotea en punto **P-03**.



Preparación de captador de lámina LL-04.



Figura VII 5. Preparación de los puntos de muestreo Fotografías tomadas por el autor, 2017.

El tratamiento del agua de lluvia captada inicia con el pre filtrado, desde el punto de recolección donde se debe prever la instalación de rejillas o trampas que filtren hojas de árboles, plumas o cualquier basura ligera arrastrada por el viento, será indispensable la instalación de un dispositivo de primeras lluvias que colecte el total de un litro por metro cuadrado de superficie de captación, con el propósito de que ahí se guarde el agua que contiene los contaminantes de la atmósfera, la tierra y basura que pudiera pasar por las rejillas instaladas en el punto de recolección.

Una vez colectada el agua en el dispositivo de almacenamiento se le aplicara cloro para evitar que se reproduzcan colonias de coliformes fecales y bacterias, la aplicación del cloro puede ser por medio de pastillas o un dosificador por goteo. Se deberá instalar un sistema de filtrado para la distribución del agua por la edificación, dicho sistema se compone de un cartucho de membrana geotextil para eliminar partículas gruesas, uno de carbón activado granular y otro de carbón activado en bloque para eliminar cloro, olores y sabores. Para lograr una mejor calidad de agua se recomienda la instalación de una lámpara ultravioleta para la eliminación la mayoría de los microorganismos.

## ELEMENTOS DE UN SCALL

A continuación, se hace la descripción de cada uno de los elementos que integran un SCALL y las recomendaciones que se deben seguir para cada uno.

**1.- Área de captación.** Superficie sobre la que cae la lluvia, capacitada para recolectarla en uno o más puntos y de ahí pasarla al sistema de conducción. Debe de estar libre de agentes contaminantes que puedan demeritar la calidad del agua captada.

**2.- Sistema de conducción.** Está integrado por los elementos que reciben el agua de lluvia proveniente del área de captación y la conducen hacia el dispositivo de almacenamiento. Éstos pueden ser coladeras, canaletas, tubería y accesorios necesarios para realizar conexiones y soporte del sistema. Los criterios para su cálculo deberán ser apegados a los estándares de la hidráulica y avalados por un especialista en el área.

**3.- Dispositivo de Primeras Lluvias (DPLL).** Se encuentra ubicado entre el área de captación y el dispositivo de almacenaje. Cumple la función de recolectar el volumen equivalente al primer litro por m<sup>2</sup> que cae sobre el área de captación, ya que se estima es la cantidad de agua que se requiere para que se lave el techo, una vez lleno permite el flujo hacia el dispositivo de almacenamiento (Cepis, 2004). Debe contar con un orificio para el drenado automático de tal forma que se descargue en el transcurso de un día para que cumpla su función cada vez que se presente una lluvia, su ubicación debe ser en un lugar accesible que permita realizar el mantenimiento de forma adecuada.

**4.- Dispositivo de almacenamiento.** Puede ser una cisterna, tanque o cualquier contenedor que permita almacenar y conservar el agua de lluvia captada. Para el cálculo del dispositivo de almacenaje se debe considerar la disponibilidad de espacio para la instalación del mismo, el potencial de captación de agua de lluvia y el gasto de agua promedio de la edificación.

**5.- Salida de aire.** Aireador que permite la ventilación de la cisterna, en el extremo exterior debe estar preparado con una malla que evite la entrada de contaminantes a la cisterna.

**6.- Rebosadero.** Tubería colocada al nivel de llenado máximo de la cisterna para realizar el desalojo del excedente de agua al exterior, dependiendo de las posibilidades del proyecto el destino puede ser idealmente un pozo de infiltración, tiro a cielo abierto, al drenaje pluvial o sanitario.

**7.- Toma de agua complementaria.** Es la toma de agua proveniente del sistema de abasto municipal o de cualquier otra fuente que abastezca el sistema hidráulico en el tiempo de estiaje.

**8.- Sistema alternador de fuentes de abasto.** Es el conjunto de válvulas, manuales o automatizadas, que controla el ingreso de agua al dispositivo de almacenamiento. Su función es limitar el ingreso de agua de la toma complementaria a un nivel de seguridad para permitir el ingreso de agua de lluvia en el temporal y mantener el dispositivo de almacenamiento lleno el periodo de estiaje.

**9.- Sistema de bombeo.** Puede ser una bomba de agua o algún equipo hidroneumático, aunque este elemento puede ser parte del sistema hidráulico de la edificación, se incluye aquí ya que es indispensable para el funcionamiento del sistema de tratamiento.

**10.- Tratamiento.** Es el proceso al que se somete el agua de lluvia para lograr su potabilización. La selección del tipo de sistema de tratamiento se deberá hacer un estudio de calidad del agua captada en el punto donde se diseñe el SCALL.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

12. ARCSA, ASPE & ANSI 63-2013. (2013). Rainwater Catchment Systems. Rosemont, IL: American Society of Plumbing Engineers.
13. Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, Diario Oficial de la Federación, Cd. De México, México, 5 de febrero de 1917, DOF 15-09-2017. Recuperado el 03 de marzo 2018, de: [http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/1\\_150917.pdf](http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/1_150917.pdf)
14. GARCIA, M. (2004). Evaluación físico-química de la acidez de las precipitaciones y su dinámica en la zona Metropolitana de Guadalajara, periodo 1994-2002 (Tesis de maestría) Universidad de Guadalajara, Guadalajara, Jalisco.
15. Garcia, J. (2011). Estudio de calidad de agua de lluvia captada en una casa semiurbana al sur-poniente de la ciudad de México. Universidad Autónoma de México. Recuperado de <http://islaurbana.mx/wp-content/uploads/2017/06/1Garci%CC%81a-Me%CC%81xico.pdf>
16. Glogal Water Partnership. (2011). Hacia una gestión integrada de aguas urbanas. noviembre 06, 2016, de Glogal Water partnership Sitio web: [http://www.gwp.org/Global/GWP-CAM\\_Files/AguasUrbanas.pdf](http://www.gwp.org/Global/GWP-CAM_Files/AguasUrbanas.pdf)
17. Gobierno del Estado de Jalisco (2008). Código Urbano para el estado de Jalisco. Recuperado de : <https://www.zapopan.gob.mx/wp-content/uploads/2015/03/C%C3%B3digo-Urbano-para-el-Estado-de-Jalisco.pdf>
18. Gobierno del Estado de Jalisco. (2016). Área Metropolitana de Guadalajara. noviembre 06, 2016, de Gobierno del Estado de Jalisco Sitio web: <http://www.jalisco.gob.mx/wx/node/1738>
19. González, Loza y Gómez (2010). Características climáticas generales en la zona metropolitana de Guadalajara (ZMG) Sincronía Cucsh. Recuperado de <http://sincronia.cucsh.udg.mx/gonzalezsalazarspring2010.htm>

20. LEY General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (15-05-2013). DECRETO por el que se adiciona un artículo 17 TER. Recuperado el 30 de Abril 2015, de <http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/ref/lgeepa.htm>
21. NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-127-SSA1-1994, "Salud ambiental, agua para uso y consumo humano-límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización". Recuperado de <http://www.salud.gob.mx/unidades/cdi/nom/127ssa14.html>
22. Ó. E. Ospina-Zúñiga y H. Ramírez-Arcila, "Evaluación de la calidad del agua de lluvia para su aprovechamiento y uso doméstico en Ibagué, Tolima, Colombia". Ingeniería Solidaria, vol. 10, n.º 17, pp. 125-138, en.-dic., 2014. doi: <http://dx.doi.org/10.16925/in.v9i17.812>
23. OMS. (2016). Centro de prensa, noviembre 2016, de Organización Mundial de la Salud Sitio web: <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs391/es/>
24. ONU (1987). Agenda XXI. Departamento Económicos y Sociales, División de Desarrollo sustentable. Recuperado de <http://www.un.org/spanish/esa/sustdev/agenda21/agenda21spchapter18.htm> el 19 de noviembre de 2017.
25. Shelly R., Sinclair M., Forbes A., Cunliffe D. y Leder K. (2009) Drinking Rainwater: A Double-Blinded, Randomized Controlled Study of Water Treatment Filters and Gastroenteritis Incidence. American Journal of Public Health, Vol. 101 (No. 5). Recuperado de <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3076412/pdf/842.pdf>
26. SIAPA. (2018). El SIAPA exhorta a un uso racional del agua. marzo 20, 2018, de SIAPA Sitio web: <http://www.siapa.gob.mx/prensa/el-siapa-exhorta-un-uso-racional-del-agua>
  
27. UNESCO. (2012). Educación para el desarrollo sostenible. abril 25, 2017, de Organizacion de las Naciones Unidas Sitio web: <file:///C:/Users/Jose%20Jim%C3%A9nez/Documents/Maestria/TOG/Lecturas%20para%20protocolo/Educacion%20para%20el%20desarrollo%20sustentable216756s.pdf>

## **2.2.11 Sistema de evaluación de la sostenibilidad del sector forestal de la CAPV validado por agentes de toda la cadena de valor.**

### **Rubén Carnerero, IK Ingeniería <sup>(1)</sup>**

Socio fundador de IK Ingeniería. Rubén es Ingeniero industrial; responsable de proyectos de Ecodiseño, ACV y economía circular entre otros. Es especialista en sistemas de gestión de Ecodiseño (ISO 14006) y es verificador independiente en el “International EPD System-Envirodec”.

### **Francisco Campo, IK Ingeniería**

Socio fundador de IK Ingeniería. Francisco es Ingeniero industrial; responsable de proyectos de Ecodiseño, Análisis de Ciclo de Vida (ACV) y Ecoinnovación, de proyectos de edificación sostenible y de la implantación de sistemas de gestión del Ecodiseño (ISO 14006).

### **Gorka Benito, IK Ingeniería**

Ingeniero Industrial, centra su actividad en la innovación y mejora ambiental de productos y servicios en empresas y administraciones. Es verificador independiente en el “International EPD System-Envirodec” y desde 2016, miembro de su comité asesor internacional (International Advisory Board).

### **Roberto Campo, IK Ingeniería**

Ingeniero industrial formado en la UPV-EHU, desarrolla su labor entre la ecoinnovación y la consolidación de la Huella Ambiental Corporativa en las principales empresas del sector eléctrico y de las energías renovables, ejerciendo un efecto tractor sobre el tejido empresarial vasco.

### **Olatz Unamunzaga, NEIKER**

Doctora en Biología por la Universidad de Zaragoza. En 2004 se especializa en mapeo de suelos. Desde 2010 es responsable técnico de proyectos nacionales y europeos relacionados con el ACV en el sector agrario.

### **Oscar del Hierro, NEIKER**

Licenciado en Ciencias Biológicas en 1997. En los últimos años ha colaborado en diversos proyectos relacionados con el cálculo de la sostenibilidad en el sector agroganadero del País Vasco.

**Dirección (1):** Calle / Av. Fanderia, 2, Oficina 102 – Baracaldo – Vizcaya - 48901 – España - Tel.: (+34) 944 18 17 46

**e-mail:** [r.carnerero@ik-ingenieria.com](mailto:r.carnerero@ik-ingenieria.com)

## **RESUMEN**

Con el objetivo principal de dar respuesta a una necesidad del sector forestal que actualmente no cuenta con criterios objetivos y demostrables sobre los beneficios del uso de una madera local y producida de manera sostenible, se define como objetivo general del proyecto la evaluación de la sostenibilidad de toda la cadena de valor del sector forestal, desde la producción hasta su transformación y venta final, así como la promoción del mismo a través de características vinculadas a la sostenibilidad ambiental: Ecodiseño, eficiencia de los recursos y minimización de impactos ambientales; y sostenibilidad social, asegurando un sistema socialmente justo. Todo ello sin perder de vista la consecución de productos innovadores y competitivos.

Hay que reseñar como uno de los puntos clave para el desarrollo de este proyecto la necesaria involucración de toda la cadena de valor asociada a este sector: Desde la explotación de bosques hasta agentes consumidores de este tipo de productos tales como la administración, de tal manera que se coordine la oferta y la demanda en busca de un consenso en la comunicación y consecución de características buscadas.

El resultado principal del proyecto es diseñar y validar indicadores objetivos, útiles para el 100% del sector, que permitan cuantificar la sostenibilidad en sus tres ejes que la conforman: ambiental, económica y social. Desde el punto de vista de empresas del sector, los indicadores ambientales como por ejemplo la Huella de Carbono, les permitirá obtener una fotografía de su sistema productivo debidamente cuantificada y les permitirá conocer cuáles son los procesos menos favorables que deban mejorar. Por su parte, la realización de este tipo de diagnóstico permitirá conocer a la administración exactamente en qué situación se encuentra el sector y de aquí en adelante podrá definir medidas que pongan en valor las fortalezas y diseñar estrategias que mejoren los puntos débiles. La administración, a través de los indicadores que se definan, tendrá una herramienta objetiva, científica y comparable con los estándares internacionales para valorar y priorizar dicha sostenibilidad en la toma de decisiones.

**Palabras claves: sostenibilidad, sector forestal, ecodiseño, madera local, set de indicadores**

## INTRODUCCIÓN

En 2016, los países y ciudadanos de todo el planeta fijaron 17 objetivos para transformar el mundo, conocidos como los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) (<http://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/>). Su objetivo es el de mostrar un nuevo camino que permita mejorar las vidas de las personas en todas partes. Progresivamente, los países se están haciendo eco de estos ODS, adoptando nuevos programas de desarrollo sostenible y un nuevo acuerdo mundial sobre el cambio climático.

Dentro de estos ODS se encuentra el número 15: Gestionar sosteniblemente los bosques, luchar contra la desertificación, detener e invertir la degradación de las tierras y detener la pérdida de biodiversidad. El 30% de la superficie terrestre está cubierta por bosques y estos, además de proporcionar seguridad alimentaria y refugio, son fundamentales para combatir el cambio climático, pues protegen la diversidad biológica y las viviendas de la población indígena. Cada año desaparecen 13 millones de hectáreas de bosque y la degradación persistente de las zonas áridas ha provocado la desertificación de 3.600 millones de hectáreas. La deforestación y la desertificación –provocadas por las actividades humanas y el cambio climático– suponen grandes retos para el desarrollo sostenible y han afectado a las vidas y los medios de vida de millones de personas en la lucha contra la pobreza (Los bosques son el medio de vida de alrededor de 1600 millones de personas, incluidas más de 2000 culturas indígenas).

En lo que respecta a Europa, contiene el 5% de los bosques a nivel mundial, con una expansión constante desde los últimos 60 años. Los bosques europeos y otros terrenos madereros cubren actualmente 155 millones y 21 millones de hectáreas respectivamente, lo que supone algo más del 42% de la superficie total de Europa. En los últimos años, se ha podido ver cómo los bosques han sido afectados por una amplia gama de políticas e iniciativas de la UE, derivadas a su vez de diversas políticas sociales. Esto ha provocado que la última estrategia forestal europea focalice 8 áreas prioritarias que tratarán de implementarse a partir de 2018:

- Apoyo a comunidades rurales y urbanas.
- Fomento de la competitividad y la sostenibilidad de las industrias forestales de la UE, la bioenergía y la economía verde en general.
- Los bosques en un clima cambiante.
- Protección de los bosques y mejora de los servicios de los ecosistemas.
- ¿Qué bosques tenemos y cómo están cambiando?
- Nuevos e innovadores productos forestales y de mayor valor añadido.
- Trabajar juntos para gestionar y comprender mejor los bosques.
- Bosques desde una perspectiva global.

A nivel de País Vaso y dentro del Programa Marco Ambiental 2020, se han definido también estrategias y actuaciones de consideración específicas para el sector forestal y todo lo que conlleva

a nivel de sostenibilidad económica, ambiental y social: Dentro de su objetivo estratégico 1. Proteger, conservar y restaurar nuestro capital natural, preservando los servicios que nos aportan los ecosistemas, se pretende que los principales hábitats, terrestres y marinos hayan mejorado su estado y que las principales afecciones como el aislamiento de zonas y las especies invasoras se gestionen de un modo integral y sistémico. Por otra parte, el Plan Forestal Vasco desarrolla la estrategia en Euskadi de sus bosques, fauna, flora y parques naturales, y en donde además se desarrollan actividades de producción sostenida, como es la forestal y de pastos, que representan un 20% de la producción total agraria. Los ciclos forestales e incluso las actuaciones de otro tipo en entornos naturales poseen turnos largos: treinta, sesenta y hasta cien años en algunas especies y circunstancias, lo que exige planificar con especial cuidado unas actuaciones que sólo darán sus frutos a medio plazo. El conjunto de los elementos que forman el Medio Forestal: desde la definición física del espacio que debe ocupar hasta los bienes y servicios que se esperan de él. Por último, cabe destacar la iniciativa “Gure Zura”, que se lanzó en 2015 para fomentar el uso de madera local y en la que se muestra el compromiso del sector con la sostenibilidad medioambiental, económica y social.

Si bien existe un consenso en fomentar la sostenibilidad del sector, se ha podido apreciar que no hay técnicas que permitan cuantificar de una manera objetiva los beneficios del uso de una madera local y comprometida con el medioambiente, economía y sociedad. Siendo así, es difícil poner en valor la sostenibilidad del sector y con ello el uso de la madera vasca frente a maderas o productos derivados de la madera importada. Para poder crear una conciencia social, para que el consumidor, responsable final, así como para poder introducir en las licitaciones el concepto de sostenibilidad, el sector necesita urgentemente contar con herramientas que le permita poner en valor su producto, en este caso la madera local. Es decir, necesita elaborar criterios objetivos y demostrables de gestión forestal sostenibles.

Para poder dar solución a esta necesidad se desarrolla este proyecto, cuyo objetivo principal es identificar estos indicadores ambientales, económicos, y sociales, desarrollar la metodología de cálculo de los mismos, y validarlos con todos los agentes del sector. Como resultado del proyecto será posible obtener un set de indicadores específico para el sector forestal y que sirva para poner en valor la madera de Euskadi y también para conocer las debilidades del sector para posteriormente definir planes de mejora que ayuden a superar esas debilidades.

## **OBJETIVOS DEL PROYECTO**

Con el objetivo principal de dar respuesta a una necesidad del sector forestal que actualmente no cuenta con criterios objetivos y demostrables sobre los beneficios del uso de una madera local y producida de manera sostenible, se han definido los siguientes objetivos generales del proyecto:

- Evaluar la sostenibilidad de toda la cadena de valor del sector forestal, desde la producción hasta su transformación y venta final. A su vez, esta solución impulsa la información y formación sobre los aspectos de sostenibilidad económica, social y ambiental a todos los agentes involucrados en la cadena, productores, transformadores, consumidores o administraciones.
- Promocionar un sector forestal que utilice eficientemente los recursos, sea económicamente viable, productivo y competitivo, que trabaje por minimizar sus impactos ambientales y que asegure un sistema socialmente justo.

Asimismo, se han definido unos objetivos específicos:

- Establecer una sistemática de evaluación que permita medir y comunicar de una forma estandarizada el valor ambiental, económico y social de la madera local en el País Vasco.
- Desarrollar un set de indicadores económicos, ambientales y sociales clave para poner en valor la madera de Euskadi y válido para el 100% del sector forestal. Estos indicadores

permitirán evaluar la sostenibilidad de los productos locales de una forma estandarizada y aportar rigor técnico-científico a las acciones de comunicación / promoción de la madera local.

- Validar el set de indicadores ambientales, sociales y económicos como herramienta para potenciar el consumo de madera local y ayudar a la toma de decisiones.
- Identificar las debilidades, amenazas, fortalezas y oportunidades de mejora del sector forestal.
- Realizar la evaluación de sostenibilidad comparativa entre un producto producido a través de madera local frente a otro producido a través de madera importada.
- Promocionar la sostenibilidad a los agentes de interés de la cadena de valor de la madera local como herramienta para su fortalecimiento.

## **PARTICIPANTES EN EL PROYECTO**

Tal y como se ha comentado con anterioridad, una de las claves para éxito en el desarrollo del proyecto es la participación y difusión a toda la cadena de valor del sector forestal. Es ese sentido, este proyecto está formado por socios que cubren todos sus eslabones principales en el País Vasco.

El coordinador del proyecto es BASKEGUR, asociación profesional representativa del sector forestal madera vasco. Es el órgano voluntario de encuentro y centro consultivo del sector forestal y de sus industrias asociadas. Cuenta entre otros con los siguientes asociados:

- Asociación de Forestalistas de Araba, Gipuzkoa y Bizkaia.
- Asociación de Rematantes Forestal del País Vasco.
- Basolanak Elkarte, empresas de primera transformación de la madera.
- Industrias papeleras.
- Empresas de bioenergía forestal.
- Empresas de segunda transformación de la madera.

Es decir, BASKEGUR incorpora toda la cadena de valor del sector y teniendo en cuenta que el objetivo principal del proyecto es desarrollar y validar una metodología que permita cuantificar la sostenibilidad del sector mediante indicadores ambientales, económicos y sociales, resulta fundamental su presencia como líder del proyecto. Además, cabe destacar que entre otras materias, BASKEGUR apoya, directamente o junto a sus socios, el desarrollo de herramientas e iniciativas que redundan en una mejora de la sostenibilidad del conjunto del sector forestal-madera, así como la implantación de las certificaciones que lo garantizan. Entre otras apoyan iniciativas para implantar en sus empresas la metodología de ACV, la metodología base en la que se centran los indicadores desarrollados en este proyecto.

Para poder validar los indicadores y comprobar su utilidad es necesario que sean probados a través de pilotajes en empresas del sector:

- EGOIN, como empresa que da servicios de ingeniería y producción en el sector de la construcción con madera. Utiliza 20.000 m<sup>3</sup> de madera de procedencia local, asistidos por explotaciones forestales y aserraderos suscritos a la cadena de custodia PEFT.
- PROTEC, especializados en la fabricación y comercialización de madera tratada para exteriores, que ya cuentan con EPD de Producto, reflejando así su interés por la cuantificación de sostenibilidad.
- EBAKI, empresa del sector que está presente en los mercados del embalaje, construcción, mobiliario en kit y madera aserrada.

Indicar que como socios tecnológicos el consorcio cuenta con la participación de NEIKER, centro tecnológico agrario e IK, ingeniería especializada en Ecoinnovación. Su misión dentro del proyecto es la de definir los indicadores y la metodología apropiada, calcular los indicadores definidos con los

productos de EGOIN, PROTEC y EBAKI y proponer el plan de mejora de dichos indicadores en función de los resultados obtenidos en la Fase III.

Por último, se observa el interés activo por parte de la administración, de cara a satisfacer sus actuales necesidades de conocer con la mayor exactitud posible las bondades en materia de sostenibilidad de los productos y servicios del País Vasco. No sólo para la mejora de su competitividad tanto dentro como fuera del país, sino, como elemento diferenciador en concursos y/o licitaciones a la hora de justificar sus bondades

## **DESARROLLO Y ESTADO ACTUAL DEL PROYECTO**

El proyecto se ha dividido en tres grandes fases: Definición de la problemática ambiental, económica y social del sector forestal en el País Vasco y definición de factores de sostenibilidad, validación de set de indicadores desarrollados en las empresas participantes y mejora de la sostenibilidad socio-económica y ambiental del sector forestal.

Actualmente se está finalizando la primera fase, en la que se ha realizado un diagnóstico ambiental, económico y social del sector forestal en Euskadi. Se ha evaluado toda la situación y problemática de la cadena de valor forestal en los principales productos que se producen, transforman y comercializan. Concretamente, se han evaluado los siguientes aspectos:

- Problemática Ambiental: con un enfoque claro de ciclo de vida, se han seleccionado los aspectos con mayor incidencia ambiental en cada etapa de la cadena.
- Problemática Social: para cada etapa y sector de afección se han identificado los retos a los que las cadenas están haciendo frente: envejecimiento de la plantilla, igualdad, comunidades locales, etc.
- Problemática económica: a nivel global se ha evaluado el nivel de retorno del precio de los productos de Euskadi, el valor añadido que muestran y la posible intención de compra de los consumidores. Además, para cada etapa se han establecido los aspectos económicos clave (posible dumping, competencia de precios, etc.)

Se han definido los puntos críticos que necesitan una mejora urgente y las bondades que necesitan una campaña de visualización empezando por la propiedad forestal, seguido por las empresas de servicio forestal, rematantes, empresas de primera transformación (sierras y embalajes), industria de la pasta y el papel, empresas de segunda transformación (muebles, estructura, carpintería).

Por otra parte, también se han identificado y seleccionado los sistemas de evaluación de la sostenibilidad ambiental, social y económica más adecuados, fiables y reconocidos a nivel internacional. El trabajo se ha centrado en aquellos sistemas que tienen más relevancia a la hora de evaluar un sistema forestal local con respecto a un sistema global. Concretamente, se han evaluado:

- Certificados de cadena forestal sostenible: FSC y PEFC.
- Certificado del FEMB (Federación Europea de fabricantes de mobiliario de oficina).
- Etiquetados tipo I:
  - o Etiqueta ecológica europea, en sus categorías de mobiliario de madera y revestimientos de madera para suelo.
  - o Ángel azul alemán, en sus categorías de productos de madera y productos basados en madera de bajas emisiones, así como paneles de madera compuesta de baja emisión.
  - o Cisne nórdico, en sus categorías de madera duradera alternativa a la madera impregnada de manera convencional, paneles para la construcción, decoración y mobiliario y mobiliario y accesorios.
- Sistemas de evaluación y certificación de edificios sostenibles: Como LEED, BREEAM, etc.
- EN 16449: madera y productos derivados de la madera.

- Etiquetado tipo III: Environdec, IBU y EPD-Norge en sus Reglas de Categoría de Producto que incluyen elementos de madera.

Actualmente se están cruzando los indicadores sociales, económicos y sociales identificados con los principales problemas del sector, para así dar con el set de indicadores que definirá la sostenibilidad del sector. En esta definición, se está buscando aunar los siguientes atributos:

- Que sean medibles y comparables.
- Que respondan a aspectos considerados relevantes.
- Que sean entendibles y sencillos, pero técnicamente fiables.
- Que permitan entender el comportamiento de la sostenibilidad de un producto y su proceso de obtención y comercialización.

Posteriormente y mediante reuniones multidisciplinares con los miembros del consorcio involucrados se seleccionarán aquellos indicadores que mejor describan la realidad de las empresas de la cadena de valor del sector forestal.

Se tiene previsto que para cada pilar de sostenibilidad se seleccionen un mínimo de 3 y un máximo de 5 indicadores. Una vez definidos, se procederá a detallar en una ficha específica para cada uno de ellos las siguientes características:

- Tipo: Ambiental/social o económico
- Ámbito: Cadena entera o de una etapa específica
- Descripción general
- Unidad de medida (tanto para los cuantitativos como para los cualitativos)
- Metodología de medida
- Requisito de información necesarios
- Límites establecidos (solo en caso que exista legislación aplicable)
- Metas a alcanzar (en caso que exista alguna directiva o iniciativa que regule el indicador)
- Referencias

Más adelante se prevé la validación de este set de indicadores y definición del plan de mejora, tanto a nivel individual como a nivel global de la cadena de valor forestal de Euskadi. Para el caso de validación del set de indicadores, además de la validación propiamente dicha se prevé un desarrollo específico de recopilación de información, ya que habitualmente éste suele ser uno de los puntos más críticos a la hora de poder valorar la situación de partida y consecuentemente realizar la evaluación de sostenibilidad. Con respecto al Plan de mejora de la sostenibilidad, los resultados de la evaluación de la sostenibilidad podrán ser de gran utilidad a 2 niveles:

- A nivel sectorial se identificarán los puntos de mejora del sector forestal (p.e. falta de formación, envejecimiento del sector, disponibilidad, etc.), así como los puntos fuertes o potenciales de ser comunicados a terceros (cercanía, aporte al PIB de Euskadi, creación de puestos de trabajo, etc.)
- A nivel individual las empresas podrán implementar un plan de sostenibilidad específico con el fin de mejorar a nivel ambiental (reducción de consumos de agua), social y económico.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Departamento de Agricultura y Pesca, Gobierno Vasco (1994) Plan Forestal Vasco 1994-2030.

PNUD (2016) 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS).

COMUNICACIÓN DE LA COMISIÓN AL PARLAMENTO EUROPEO, EL CONSEJO, EL COMITÉ ECONÓMICO Y SOCIAL EUROPEO Y EL COMITÉ DE LAS REGIONES. Una nueva estrategia de la UE en favor de los bosques y del sector forestal. Bruselas, 20.9.2013 COM(2013) 659 final.

Administración de la Comunidad Autónoma del País Vasco. Departamento de Medio Ambiente y Política Territorial (2014) Programa Marco Ambiental de la CAPV 2020.

5. IHOBE (2000) Manual práctico de Ecodiseño. Operativa de implantación en 7 pasos. Sociedad Pública de Gestión Ambiental. Gobierno Vasco

## 2.2.12 Propuesta metodológica para el inicio de un análisis de ciclo de vida social en queserías artesanales.

### **Cristina Salas Vargas** <sup>(1)</sup>

Médica Veterinaria Zootecnista, Especialista en Producción Animal en Bovinos y Maestra en Medicina Veterinaria, UNAM. Línea de trabajo queserías a pequeña escala en México. Actualmente cursa el doctorado en Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales en el Instituto de Ciencias Agropecuarias y Rurales, UAEMéx.

### **Luis Brunett Pérez** <sup>(2)</sup>

Médico Veterinario Zootecnista por la UAEMéx, Maestro en Desarrollo UAM-X. Doctor en Ciencias Veterinarias con especialidad en Desarrollo Rural Sustentable UNAM. Líder de la “Red de Sustentabilidad y Socioeconomía de los lácteos”.

### **Valentín Efrén Espinosa Ortiz** <sup>(3)</sup>

Médico Veterinario Zootecnista UNAM, Maestro en Producción Animal por la FMVZ-UNAM y Maestro en Administración de Organizaciones en la FCA-UNAM. Doctor en Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales UAEMéx.

### **Mireya González Ortiz** <sup>(4)</sup>

Ingeniera Química y Doctorado en Ciencias en Ingeniería Ambiental en el Instituto Tecnológico de Toluca, este último con la especialidad en ACV de procesos industriales. Colaboró en CADIS en el desarrollo y gestión de proyectos de evaluación ambiental.

**Dirección (1):** Instituto de Ciencias Agropecuarias y Rurales - El Cerrillo Piedras Blancas –Toluca, Estado de México –Código postal 50200 - México. - Tel.: (+52) 722 18-06124/ 2965552 ext. 6500  
e-mail:tavs182\_@hotmail.com

## **RESUMEN**

El trabajo pretende centrar los pasos y las herramientas para poder llevar a cabo un Análisis de Ciclo de Vida Social en queserías artesanales al norte del Estado de México. Se presenta una revisión de literatura de los principales investigaciones relacionadas con el tema, tratando de entender el contexto y porqué estamos interesados en desarrollar investigación a nivel local de una región productora de quesos. También se presenta un modelo con datos genéricos con la base de datos “*Social Hotspots Data Base*” para tener un panorama general de la producción de lácteos en México con el contexto social en el que se desarrolla. Por último se presenta los inicios del proceso para realizar un ACV-S en quesos, culminando con la reflexión de las implicaciones que tiene esta investigación.

**Palabras claves:** queserías, inventario social, ecodiseño alimentos.

## **INTRODUCCIÓN**

La agroindustria lechera y derivados lácteos familiares y artesanales representan “ una fuente regular de ingresos (Jiménez- Jiménez R. *et al.*, 2014); proporciona alimentos nutritivos; mejora el uso de los recursos (Camacho-Vera J. *et al.*, 2017); genera empleo en la explotación y fuera de ella, crea

oportunidades de género, estabilidad financiera; y mejora la productividad y el aumento de la eficacia de las cadenas lácteas, y generación de valor con los derivados lácteos (Espinosa-Ayala *et al.*, 2013).

Las exigencias actuales de producción de alimentos de nota una necesidad de aprovechamiento de los recursos naturales, eficiencia económica y menos impactos sociales y ambientales.

El ecodiseño es una de las herramientas de apoyo para mejorar ambientalmente un producto, visualizado desde las fases tempranas de su ciclo de vida (Ramos, *et al.* 2016). La industria agroalimentaria necesita de herramientas útiles para ser más competitiva en los mercados, y a su vez sostenible (Tabla 1).

**Tabla 1. Retos y Oportunidades de la Agroindustria Alimentaria. Ramos, *et al.* 2016.**

<b>Retos</b>	<b>Oportunidades</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Dificultad a la capacidad de producción de las materias primas.</li> <li>- Alta competencia.</li> <li>- Crecientes exigencias, necesidades del mercado.</li> <li>- Consumidor (demanda transparencia y conocimiento del producto).</li> <li>- Mas exigencias políticas y normativas.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Implementación de Ecodiseño.</li> </ul> <p>Modelos de competitividad basados en la:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Eficiencia</li> <li>- Sostenibilidad</li> <li>- Aumentar valor añadido, percibido, diferenciado.</li> </ul>

En 2016, Salgado *et al.* presentó un estudio de un producto agroalimentario, proponiendo que este sector debe plantearse innovaciones como los diseños sustentables, aunado a que esto puede permitir la sinergia entre empresas en zonas productoras y a su vez mejorar indicadores de bienestar social.

Por lo que es necesario plantear un estudio que permita bajo el pensamiento de ciclo de vida complementar los estudios ambientales, sociales y sus herramientas para obtener un pensamiento sustentable completo.

### **Análisis de Ciclo de Vida Social (ACV-S).**

El ACV-S promueve la identificación de los puntos críticos (hotspots sociales<sup>1</sup>) en el ciclo de un producto para mejorar de las condiciones sociales y del desempeño económico de un producto a lo largo de su ciclo de vida (Jørgensen, 2012). Esta metodología fue introducida al campo de estudios del ACV a principios de los 90's (O'Brien, *et al.* 1996) llegando a ser reconocida con la publicación en 2009 "Guiden lines for S-LCA of products". Esta herramienta ayuda para la orientación en la identificación de los actores sociales "stakeholders<sup>2</sup>" presentes en una cadena productiva, los indicadores sociales que los afectan y la identificación de subcategorías de cada actor social. Al ser una metodología no estandarizada, se trabaja con los mismos lineamientos del ACV-Ambiental ISO 14040- 14044, adaptados a las necesidades de la investigación social (Parent, *et al.*, 2010).

<sup>1</sup> Hotspots en ACV-S. Son actividades de producción en el ciclo de vida de un producto que presenta una alta oportunidad para direccionar las problemáticas sociales (Benoit, *et al.* 2010).

<sup>2</sup> Stakeholders. Individuos o grupos que afectan o se ven afectados por una organización y sus actividades (Krick, *et al.* 2006).

Se han identificado problemas para la adaptación del ACV-S en lo referente a la selección de indicadores a evaluar y a la unidad funcional con la cual trabajar. En estos momentos los trabajos sufren adaptaciones según el objetivo a cumplir del análisis. Las investigaciones no trabajan con la misma unidad funcional que con el Análisis de Ciclo de Vida Ambiental (Wu, *et al.* 2014), por lo que aún se realizan pruebas para desarrollar una alternativa que se adapte a las condiciones de las investigaciones y lograr en algún punto estandarizar la metodología social como es el caso de la ambiental.

Principalmente los trabajos están desarrollados en la industria, sin embargo surge la necesidad de investigar a microempresas que presentan dinámicas diferentes y que representan un sector importante social en la cadena de producción de regiones estratégicas como es el caso de México. En 2018, Siebert denota la importancia de estudiar contextos regionales específicos, por lo que en esta investigación se desea trabajar en una zona de México productora de quesos y mostrar un panorama de los efectos sociales, positivos o negativos que se presentan en una región.

### **Objetivo general.**

Conocer los puntos básicos para realizar un Análisis de Ciclo de Vida Social en quesos artesanales.

### **Objetivos específicos.**

Mostrar un primer acercamiento de los retos que implica realizar un Análisis de Ciclo de Vida Social en una agroindustria mexicana.

Presentar los principales “*stakeholders*” (actores sociales) en una quesería artesanal.

### **Metodología empleada.**

Se realizó una revisión de literatura acerca de los escritos relacionados con el pensamiento de Análisis de Ciclo de Vida Social en quesos.

A su vez se recurrió a la Social Hotspots Date Base, para obtener información genérica de la lechería en México.

Posteriormente se eligió una zona de estudio representativa de producción de quesos artesanales para realizar un primer acercamiento del Análisis de Ciclo de Vida Social en quesos artesanales mexicanos.

La zona de estudio fue el municipio de Aculco, Estado de México (Figura 1). Caracterizada por empresas de transformación lechera y sus derivados lácteos, presentando diferencias cantidad de producción y tecnología (Castañeda, *et al.* 2009). La ganadería de la región es a baja escala y su tradición quesera en 2009 provenía de 37 agroindustrias rurales distribuidas en el municipio (*ídem*). Las queserías en esta región cuentan con una variedad amplia de actores económicos y sociales, desarrollando una cadena productiva con características especiales.

Existen diversos estudios que han trabajado en esta área geográfica. La generación de valor de la cadena productiva de leche y queso se ha demostrado la manufactura como la que presenta el mejor rendimiento económico, por la cercanía que tienen con el consumidor final (Espinosa- Ayala, *et al.* 2013).

Geográficamente se encuentra comunicada con vías de acceso importantes como la autopista México – Querétaro y la autopista Panamericana. Su afluente de agua proviene mayormente de la presa Ñado, por lo que esta región económica se ve favorecida (Castañeda, *et al.* 2009).

Sin embargo, se ha detectado cuestiones sociales de interés de estudio, Crespo, *et al.* 2014 realizó un estudio de la falla de acciones colectivas en el grupo de queseros, siendo esto un reto de resolución de conflictos y en consecuencia no lograr objetivos de organización entre los productores. Con lo antes mencionado, se decidió Aculco como zona de estudio por los trabajos ya realizados en el área.

Para el inicio de la investigación se comenzó con la ubicación de las queserías y se buscó el contacto con los productores para el intercambio de información. Se decidió estudiar a una quesería de mediana (Tabla 2) producción, con un procesamiento de 700 litros diarios de leche, produciendo 5 variedades de quesos, yogurt y crema. En los meses de mayo y abril se realizaron visitas a la quesería para conocer el sistema de producción y su dinámica. Se realizaron entrevistas al dueño de la quesería y a sus trabajadores, por medio de entrevistas semi estructurada y con preguntas abiertas se obtuvo la información.



**Figura 1. Localización: Aculco está al noroccidente del Estado de México. Coordenadas 20°16'20'' de latitud norte y 99°59'10'' de longitud oeste; 2,385 msnm; población 40,492 habitantes. (INEGI, 2018).**

**Tabla 2. Característica de la zona local de quesos en Aculco (Espinoza, 2004).**

<b>Características de las queserías</b>	Artesanal	Medias
Litros que procesan (día)	100-600	1,000-3,000
Mano de obra	Familiar	Familiar y empleados
Origen de la leche	Local	Local y regional

## **Resultados.**

### **Estudios de Ciclo de Vida Social en quesos.**

Estudiar el Análisis de Ciclo de Vida a través del pensamiento social es complejo, ya que en su mayoría el ACV es desarrollado para temas ambientales. Para el caso de los estudios sociales, resultan complicados de evaluar por la tipología de medición subjetiva y cualitativa que presentan, ante investigaciones de ciencias duras (Lofrida, *et al.*, 2017).

Uno de los primeros trabajos de quesos en relacionar el ciclo de vida ambiental y social fue el presentado por Parahawewa, 2009. Realizaron una propuesta de evaluación basándose en las hojas

metodológicas de la UNEP/ SETAC para el ACV-S, su objetivo fue comparar las producciones de quesos en Nueva Zelanda, con las producciones de Reino Unido. El grupo de estudio de Nueva Zelanda fueron productores de leche en condiciones de producción de pastoreo similares, que vendían a empresas transformadoras de leche. En este trabajo propusieron 6 grupos de actores sociales para evaluar: compañía, empleados, comunidad (nacional-internacional), futuras generaciones y consumidores. Sin embargo la evaluación del impacto social no se realizó por la falta de estandarización que tiene el ACV- Social.

En relación a esto, la metodología de ACV- Social no cuenta con un mismo patrón para cuantificar los datos, debido a la variabilidad de los sistemas y zonas evaluadas. Los parámetros pueden ser cambiantes (Bond, *et al.* 2001; González, *et al.* 2009). Las referencias sobre evaluación de la dimensión social son limitadas. Los estudios principalmente se enfocan a medir impactos sociales regionales o nacionales, pero a nivel local son escasos (*ídem*).

Bajo esta situación, en 2016 se hace la propuesta metodológica para analizar los lácteos a través de un Análisis de Ciclo de Vida en México (Brunett, *et al.*, 2016), con el motivo de ofrecer una nueva perspectiva de evaluación de la sustentabilidad de carácter ambiental y social.

En general son escasos los trabajos de ACV- Social en quesos en el mundo, el más actual y relacionado a este producto es el de Chen, 2017. En este trabajo realizan un ACV Social en granjas lecheras Irlandesas, ellos proponen en su metodología la elección primero de una zona regional para el estudio. Cuestionan la Unidad Funcional a trabajar, ya que encuentran discrepancias con la metodología del ACV- Ambiental, y describen detalladamente las características del grupo de estudio y dan pauta para la creación del ciclo del producto con el límite del sistema “de la cuna – a la puerta”, posteriormente hacen la selección de los actores sociales y después las categorías a trabajar (Tabla 3).

Concluyen con el impacto social positivo que tienen estas agroindustrias en la comunidad local y los trabajadores.

**Tabla 3. Selección de subcategorías e indicadores en un ACV-S de granjas lecheras en Irlanda Chen y Holden, 2017.**

<b>Categoría de actor social.</b>	<b>Subcategorías</b>	<b>Referencias de rendimiento.</b>
<i>Trabajadores.</i>	Desarrollo profesional	Entrenamiento y desarrollo profesional (universidad, compañía, instituto).
	Transparencias en las condiciones de trabajo.	Empleados deben recibir y tener acceso para tener copias de sus contratos.
	Horas de trabajo.	Tiempo de trabajo (Segundos)
	Salud y seguridad.	Rango de fatalidad.
	Salario justo	Diferencias entre la media sectorial de salario y salario mínimo nacional
	Beneficios sociales y seguridad	Prácticas de contratación y despido.

	Libre asociación y negociación colectiva.	
	Trabajo del adulto mayor.	Porcentaje de adultos mayores trabajando (+65).
	Trabajo de jóvenes	Porcentaje de trabajo diario en jóvenes (<35, no incluye trabajo infantil).
	Oportunidad de igualdad y discriminación.	
	Proporción de trabajadoras en la lechería y total de fuerza de trabajo.	
<i>Comunidad local.</i>	Herencia natural y cultural	Requisito legal para la protección y las guías para reparar y mantener.
	Salud y seguridad en las condiciones de vida.	Costo del impacto ambiental sobre la salud humana.
	Participación de la comunidad.	Sensación de compromiso con la comunidad.
	Respeto al derecho indígena.	Técnica de propagación y almacenamiento del estiércol
	Empleo local	Proporción de empleados de productos lácteos en empleados agrícolas.
<i>Sociedad.</i>	Desarrollo tecnológico.	Índice de reproducción económica.
	Contribución para la economía.	Ingreso de la salida de leche al objetivo de crecimiento.
<i>Actores en la cadena de valor.</i>	Responsabilidad de la promoción social.	Esquema verde, en los niveles compañía/sectorial.
	Relación del proveedor.	Acuerdo de suministro de leche entre los productores lecheros.

Otro documento que aporta para la propuesta de este trabajo es el realizado por Siebert *et al.*, 2018. El estudio presenta un término interesante de emplear que son las zonas “Bioeconómicas” donde buscan hacer análisis de una región específica de un producto, y dan las pautas para establecer los inventarios sociales, y sus categorías que bien podría ser uno de los objetivos a alcanzar en este proyecto a futuro. La tabla 4, es un ejemplo de la información específica de lo que ellos han encontrado cuando directamente obtienen información de los actores sociales presentes en su sistema.

**Tabla 4. Ejemplo de aspectos sociales resultados de las entrevistas en el trabajo de productos Siebert, 2018.**

<b>Trabajador</b>	<b>Comunidad local</b>	<b>Sociedad nacional</b>
Flexibilidad en el tiempo de trabajo.		

Beneficio entre las distancias del lugar de trabajo y hogar.	Participación de actores sociales locales.	Conservación de los recursos naturales.
Entrenamiento para aprendices.	Valorización y recreación del producto para la comunidad.	Conservación de los recursos naturales.
Empleo de trabajadores calificados.		
Medidas preventivas implementadas.	Creación de trabajos locales en las regiones bioeconómicas.	Seguridad y desarrollo sustentable.
Mejoramiento de las condiciones de trabajo.		
Contratos labores de largo tiempo.		
Incremento en la participación.		

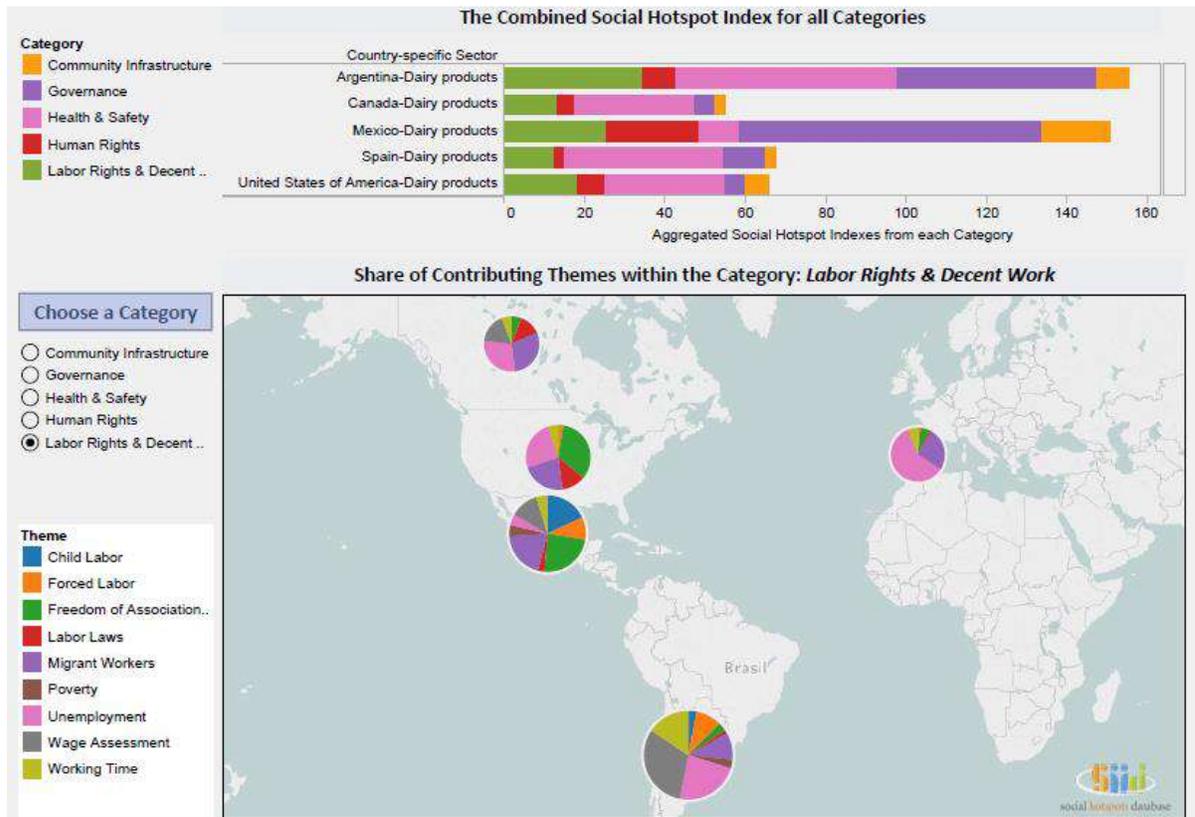
### Social Hot Date Base

La SHDB provee una evaluación inicial de los hotspots sociales asociados con una categoría de producto, direccionando las problemáticas concernientes a las categorías de impacto. Esta base de datos ofrece solo información genérica\* necesaria para plantear un análisis de ciclo de vida social (Ekener y Moberg, 2013).

Esta herramienta ideal para modelar un sector específico de forma rápida y eficiente para comenzar un estudio social, su estimación por medio de horas trabajadas es una forma de dar una tipificación del nivel de riesgo u oportunidad en la que se encuentra un producto o sistema dependiendo su región de producción.

En la figura 2 se muestra un modelo que planteamos para analizar la situación en México de productos lácteos, comparado con otros países, ya que es la única manera de obtener una visualización de la situación de un producto en diferentes regiones del mundo. Como se observa en

las barras superiores, México presenta un nivel de riesgo alto en los derechos humanos y en gobernanza comparado con Canadá o España.



**Figura 2. Uso del SHDB. Herramienta para conocer los indicadores sociales medibles y las categorías que evalúa.**

Estos modelos pueden realizarse con todas las categorías e indicadores que están presentes en las hojas metodológicas para el ACV-S (UNEP/SETAC, 2009). Trabaja con 22 temas sociales y 89 problemáticas de riesgo.

Aunque no descartamos el panorama que aporta, esta plataforma de datos es subjetiva para términos de analizar una región estratégica, por lo que podemos mencionar que su uso debe ser claramente para una primera fase de descripción, para conocer el panorama social que un producto puede ocasionar socialmente en un país, pero no es suficiente para analizar los riesgos sociales que se encuentran en el ciclo de un producto.

**Análisis de Ciclo de Vida Social.**

Para la propuesta del ACV- Social, se usó la estructura metodológica de las 4 fases de la ISO 14040 del ACV Ambiental, usando el pensamiento del bienestar humano. Se seleccionó un sitio específico de trabajo (Chen y Holden, 2017), para comenzar la recolección de información.

**Objetivo ACV-S.**

El objetivo de este estudio es realizar un Análisis de Ciclo de Vida Social en una agroindustria quesera artesanal, para conocer los impactos sociales que existen a nivel regional en empresas con

estas características. La información de este estudio servirá para la tesis doctoral en Ciencias Agropecuarias y Rurales de la Universidad Autónoma del Estado de México.

### **Alcance**

#### **Función del sistema.**

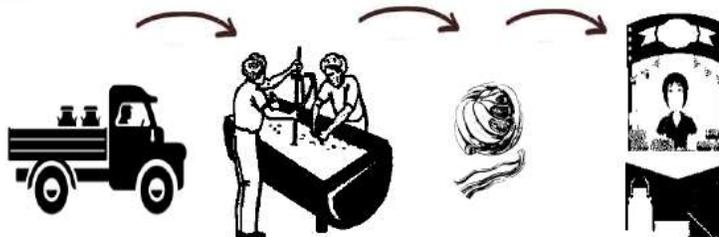
Una quesería artesanal, se refiere a una cadena de producción de quesos que provienen de un sistema de producto con características particulares, tanto en el proceso del producto, origen de la materia prima, y en el contexto cultural y social, cubriendo un importante eslabón para entender las dinámicas particulares de empresas no industrializadas en el sector de la transformación de leche. En México la presencia de la producción de quesos artesanales es de vital importancia e interés ya que representa una fuente de ingreso para los pequeños productores de leche en México (Espinosa, *et al.* 2013), o una alternativa de innovación con pensamiento de nueva ruralidad y sustentabilidad en sistemas poco tecnificados, donde sus actores sociales son pilar para su propia categorización territorial (López, 2017).

#### **Unidad funcional.**

Se decidió definir la unidad funcional de un 1 kg de queso fresco (panela), con la finalidad que en algún punto de la investigación se pueda hacer uso y se relacione con un AVC- Ambiental. Sin embargo estamos conscientes de las recomendaciones o alternativas de no utilizar este mismo valor para los trabajos de ACV-S.

#### **Sistema.**

El queso tiene una particularidad en la estructura de su sistema, cuando se visualiza un ACV ambiental, incorpora un proceso previo a la entrada de la leche a la quesería, que es la producción de la leche. Sin embargo para nuestro tema social estamos delimitando el sistema exclusivamente cuando llega la leche a la quesería, hasta el consumidor local del producto. Figura 3.



**Figura 3. Diagrama del sistema de quesería artesanal en Aculco.**

Bajo una primera fase de la investigación, los principales *stakeholders* detectados en la cadena de producción para un queso artesanal de este estudio, fueron:

Proveedores de leche: La quesería puede surtirse de leche de tres maneras diferentes, con leche perteneciente a la misma granja de la quesería; por boteros, que son intermediarios entre el productor de leche y las queserías; tres recolectores propios de la empresa.

Proveedores de materias prima: Empresa independiente que surte a la quesería de diferentes insumos.

Trabajadores: En este rubro va incluido al transportista de la materia prima, los maestros queseros, personal administrativo. Se detectó que los maestros queseros pueden realizar funciones diversas dentro de la empresa, no son exclusivos en la elaboración del queso.

Consumidores locales: Gente de la comunidad cercana, que se surte del producto.

Comercializadores: Parte de la cadena productiva que funciona como intermediario para la venta del producto final, esto se encuentra alejados de la zona de producción, por lo que se necesita de un trabajador para repartir dichos productos.

Con estos resultados, se desarrollan las categorías de *stakeholders* de la cadena de los quesos. De acuerdo con la metodología de ACV S (UNEP/SETAC, 2013).

### **Ecodiseño y consumidor.**

La producción de quesos nacionales enfrenta un conflicto de heterogeneidad productiva. Nuestro interés en estudiar este producto agroalimentario es por el gran número de actores sociales presentes (Villegas y Cervantes, 2011), y su potencial de influir en la calidad de vida en la regiones donde se producen quesos a abaja y mediana escala (Camacho-Vera *et al.*, 2016) Sin embargo en este sector son pocas las empresas o productores los que tienen una planeación para salir al mercado, ausencia de etiquetas para la identificación de las características del producto y nulo desarrollo de los beneficios de un mejor empaquetado para su venta (Villegas y Cervantes, 2011). Con los nuevos desafíos que presenta la producción de alimentos, inicia las exigencias por parte del consumidor (stakeholder vital, para el éxito de un producto en el mercado) para obtener productos que garanticen lo que se está consumiendo.

Por lo que es de interés promover la herramienta del Ecodiseño en estos productos y relacionarlo con los posibles impactos sociales positivos o negativos una vez que se implemente.

### **Discusión de resultados.**

Hasta el momento solo se tiene la fase de inventario del ACV-S. La complejidad que implica este tipo de evaluaciones, requiere de mayor información.

En primer punto la decisión de tomar como Unidad Funcional (UF) cuantitativa como lo propone Siebert, 2018, utiliza la UF como una unidad equivalente para medir de forma ponderada el peso de actividad dentro del ciclo de vida del producto.

Para términos de cómo llevar la evaluación ACV-S Fontes, *et al.* 2018 menciona que la mayoría de los estudios es realizada por grandes compañías las cuales trabajan con códigos de conducta y valores, sin embargo, estos estudios no evalúan la sostenibilidad social a nivel producto, objetivo que se desea cumplir en este trabajo. Por otra parte se ha encontrado dificultad de como evaluar los indicadores de desempeños, lo cual de acuerdo al mismo autor no es posible aplicarse para estudios de pequeñas granjas o compañías.

Para la selección de las categorías y subcategorías para evaluar, se está tomando la decisión de tomar trabajos como el de Chen y Holden, 2017 para establecer los stakeholders con el criterio de las hojas metodológicas, ellos proponen subcategorías a estudiar: Comunidad local - Empleo local; Trabajadores- Salud y seguridad, trabajo infantil, horas de trabajo, igualdad de oportunidades; Sociedad- Contribución al desarrollo económico, desarrollo de tecnología. Por lo que será necesario establecer claramente en cuáles stakeholders será posible obtener información fidedigna y así dar un aporte a los estudios de ACV-S.

### **Conclusiones o recomendaciones.**

Se presentan retos importantes para el desarrollo de este trabajo, uno es adaptar la metodología de ACV-S para una quesería media artesanal en México bajo los estándares de la guía metodológica y las hojas de trabajo para ACV S, diseñadas para un tipo diferente a nuestro grupo de estudio. Un

segundo reto es la obtención de datos fidedignos de los *stakeholders* para la información de las subcategorías. Por último, realizar una evaluación del ciclo de vida social y ambiental (se está realizando al mismo tiempo el ACV Ambiental), y unificar los dos análisis para una aportación de información de sustentabilidad para México en esta agroindustria.

En este trabajo queremos presentar las pautas del porqué es importante relacionar los impactos sobre los actores sociales y ofrecer al grupo de interés de la producción nuevas estrategias para poder entrar con fundamentos a la dinámica económica competitiva que se tiene con los productos que ya se ofrecen con ecoetiquetados, baja huella de carbono, dándole la opción al consumidor de beneficiarse con productos ecoeficientes y sustentables en los rubros ambientales y hasta sociales.

Este trabajo cuenta con el apoyo de investigación: “Estudios de los lácteos del norte del Estado de México a través de un ACV Social, estudio de caso de dos tipos de quesos.” UAEMéx 4285/2017/CI, y el de “Las organizaciones y su sustentabilidad en la cadena agroalimentaria de la leche.” UNAM PAPIIT 309317.

### Referencias bibliográficas.

1. BENOÎT, C., DEANA, N., GREGORY, A. (2010) Studying the Social Hotspots of 100 product categories with the Social Hotspots Database. *New Earth, USA*.
2. BOND, R., CURRAN, J., KIRKPATRICK, C., LEE, N. (2001) Integrated impact assessment for sustainable development. A Case study Approach. *World Development*. Vol. 9, N°6, p.1011-1024.
3. BRUNETT PÉREZ L., MARTÍNEZ G.G.C., ESPINOSA O.V., SORIANO R.R. (2016) Propuesta metodológica para el estudio de los lácteos a través de Social Análisis de Ciclo de Vida (S-ACV). Cavalloti V.B.A., Ramírez V.B, Cesín V.J.A. (Coords.), *Ganadería, Sociedad y Recursos Naturales*.p. 293-304. Universidad Autónoma de Chapingo, México.
4. CAMACHO-VERA, J. H., CERVANTES-ESCOTO F., PALACIOS R.M.I., OCAMPO L. A. J. (2016). Análisis de sistemas agroalimentarios como sistemas complejos: el queso artesanal de Reyes Etlá, Oaxaca. Renard-Hubert M.C.(Coords.), *Mercados y desarrollo local sustentable*, p. 219-236. Colofón. México.
5. CAMACHO-VERA, J. H., CERVANTES-ESCOTO F., PALACIOS-RANGEL, M.I., ROSALES-NORIEGA, F., VARGAS CANALES, J.M. (2017) Factores determinantes del rendimiento en unidades de producción de lechería familiar. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, Vol. 8 N°1, p. 23–29.
6. CASTAÑEDA, M.T., BOUCHER, F., SÁNCHEZ, V.E., ESPINOZA, O.A. (2009) La concentración de agroindustrias rurales de producción de quesos en el noreste del Estado de México: un estudio de caracterización. *Estudios Sociales*, Vol. 17, N°34, p. 74-109.
7. CHEN, W., HOLDEN, N.M. (2017). Social life cycle assessment of average Irish dairy farm. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, Vol. 22, N° 9, 1459–1472.
8. EKENER, PE; MOBERG, Å. (2013) Potential hotspots identified by social LCA-Part 2: Reflections on a study of a complex product. *International Journal of Life Cycle Assessment*, Vol. 18, N° 1, p. 144–154. doi: 10.1007/s11367-012-0443-6
9. ESPINOSA AYALA, E., ARRIAGA-JORDÁN, C.M., BOUCHER, F., ESPINOZA-ORTEGA, A. (2013) Generación de valor en un Sistema Agroalimentario Localizado (SIAL) productor de quesos tradicionales en el centro de México. *Revista de la Facultad de Agronomía*, Vol. 112, p. 36-44.

10. ESPINOZA, A. (2004) Reestructuración de la lechería en la región noroeste del Estado de México, en el marco del proceso de globalización. *Tesis doctorado*, México, UNAM, p. 264.
11. FONTES J., TARNE, P., TRAVERSO, M., BERNSTEINS, P. (2018) Product social impact assessment. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, Vol.23, p. 547-555.
12. GONZÁLEZ, E. C. E., RÍOS, G. H., BRUNETT, P. L., ZAMORANO, C. S., VILLA, M. C. I. (2006) ¿Es posible evaluar la dimensión social de la sustentabilidad? Aplicación de una metodología en dos comunidades campesinas del valle de Toluca, México. *Convergencia*, Vol. 13, Nº 40, p.107-139.
13. INEGI (2018) <http://www.beta.inegi.org.mx/temas/mapas/topografia/>. Accesado 30 de agosto de 2018.
14. IOFRIDA, N., DE LUCA, A. I., STRANO, A., GULISANO, G. (2017) Social Life Cycle Assessment for agricultural sustainability: comparison of two methodological proposals in a paradigmatic perspective. *Rivista di Economia Agraria*, Vol 72, Nº3, p. 223-265.
15. ISO (2006) ISO 14040: Environmental management—life cycle assessment—principles and framework. *International Organization for Standardization, Geneva*.
16. JIMÉNEZ, R. A., ESPINOSA O.V., SOLER, F.D.M. (2014) El costo de oportunidad de la mano de obra familiar en la economía de la producción lechera de Michoacán, México. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*. Vol.5, Nº 1, p. 47-56.
17. JØRGENSEN, A., DREYER, L.C., WANGEL, A. (2012) Addressing the effect of social life cycle assessments. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, Vol. 17, Nº 6, p. 828–839 doi: 10.1007/s11367-012-0408-9
18. KRICK T., FORSTATER, M., MONAGHAN, P., SILLANPÄÄ, M. (2005) De las palabras a la acción. El compromiso con los stakeholders. *Manual para la práctica de las relaciones con los grupos de interés*. Barcelona: UNEP.
19. LÓPEZ, M.I. (2017) La nueva ruralidad y la nueva gobernanza en México: una propuesta de categorización territorial operativa para los nuevos territorios rurales. *Sociológica*, Año 32, Nº 92, p. 217-239.
20. O'BRIEN, M., DOIG, A., CLIFT, R. (1996) Social and environmental life cycle assessment (SELCA). *The International Journal of Life Cycle Assessment*, Vol. 1, Nº 4, p. 231–237. doi: 10.1007/BF02978703.
21. PARAGAHAWEWA, U., BLACKETT, P., BRUCE, S. (2009) Social life cycle analysis (S-LCA). Some methodological issues and potential application to cheese production in New Zealand.
22. PARENT, J. CUCUZZELA, C., REVERET, J. (2010) Impact assessment in SLCA: sorting the sLCIA methods according to their outcomes. *International Journal Life Cycle Assessment*, Vol. 15, Nº2, P. 164-171.
23. RAMOS, S., ETXEBARRIA, S., ROCA, S., ZUFIA, J. (2016) Guía de ecodiseño de alimentos. Azti tecnalia, Derio, Bizkaia, España.
24. SALGADO, B.L., BRAVO, D.B., CAMARENA, G.D.M (2016) Adopción de nuevos productos con diseño sustentable: el caso de salsa de guacamole. *Interciencia*, Vol. 41, Nº6, p. 414-418.
25. SHDB (2018) <https://www.socialhotspot.org/>. Accesado 30 de Agosto 2018.
26. SIEBERT, A., BEZAMA, S., O'KEEFFE, S., THRÄN, D. (2018) Social life cycle assessment: in pursuit of a framework for assessing wood-based products from bioeconomy regions in Germany. *International Journal Life Cycle Assessment*, Vol. 23, p. 651-662.
27. UNEP SETAC LIFE CYCLE INITIATIVE (2009) Guidelines for Social Life Cycle Assessment of Products. *UNEP*, Belgium.
28. UNEP SETAC LIFE CYCLE INITIATIVE (2013) The Methodological Sheets For Subcategories in Social Life Cycle Assessment (S-LCA). *UNEP*, Belgium. Accesado 30 de Agosto de 2018.

29. VILLEGAS DE, G.A., CERVANTES, E.F. (2011) La genuinidad y tipicidad en la revalorización de los quesos artesanales mexicanos. *Estudios Sociales*, Vol. 19, N° 38, p. 2011.
30. WU, R., YANG, D., CHEN, J. (2014) Social life cycle assessment revisited. *Sustainability*. Vol.6, p. 4200-4226.

## **2.2.13 Evaluación de la huella de carbono de plantas de generación de biometano en México.**

**Nombre del Autor 1** Venecia Solórzano Villanueva. Ingeniería Bioquímica. Especialidad en Ingeniería Ambiental. Miembro del Clúster de Biocombustibles Gaseosos (CEMIE-BIO Gaseosos). Actualmente cursando Maestría en Ingeniería Ambiental.

**Nombre del Autor 2** Joel Bonales Revuelta. Licenciatura en Ciencias Ambientales. Especialidad en Ecotecnologías.

Tesista de licenciatura miembro del Clúster de Biocombustibles Gaseosos.

**Nombre del Autor 3** Carlos Alberto García Bustamante. Ing en Electrónica y Comunicaciones. Maestría y Doctorado en Ingeniería en Energía. Diplomado en Instrumentación y Control automático de Procesos Industriales y varios cursos en modelos de sustentabilidad, así como economía de energías renovables.

**Nombre del Autor 4** Maricela Villicaña Méndez. Doctorado en Ingeniería en Materiales. Profesor Investigador Titular "C" T. C. Coordinadora de la Licenciatura en Ingeniería Química de la Universidad Michoacana de San Nicolas de Hidalgo.

**Dirección:** Madrigal de las Altas Torres, 431-Vasco de Quiroga- Morelia- Michoacan-58230- México  
Tel.: 4431331488.

**Email:** [venecia\\_sv@hotmail.com](mailto:venecia_sv@hotmail.com)

### **RESUMEN**

La producción y uso de biocombustibles a nivel global ha adquirido gran popularidad durante los últimos años, vislumbrándose como una opción viable para mitigar problemas relacionados con el elevado consumo de combustibles fósiles, como es el caso del calentamiento global. Sin embargo, cualquier sistema energético de fuente renovable (como en este caso el biometano) debe cumplir con criterios de sustentabilidad, ya que su origen renovable no garantiza que su producción, conversión y uso final carezca de impactos ambientales. Lo anterior implica que sea necesario evaluar cada etapa del ciclo de vida del combustible para identificar posibles impactos ambientales generados en sus distintas etapas (cambio de uso de suelo, producción de biomasa, conversión, transporte, uso final). A partir de esto, es posible la identificación de procesos, materias primas y procedimientos más adecuados desde un punto de vista ambiental. Una metodología con estas características y que permite la evaluación de impactos potenciales en sistemas energéticos es la Huella de Carbono (HC), la cual se basa en la identificación de fuentes de GEI a lo largo del ciclo de vida de determinado producto. El objetivo principal de este trabajo fue evaluar y comparar la HC asociada a la generación de biogás y biometano en 4 plantas: Fracción Orgánica de Residuos Sólidos Urbanos (FORSU) + Agua Residual, residuos agrícolas, Maíz Forrajero y FORSU + Agua Residual. Las dos primeras son plantas existentes en el país y las otras dos provienen de la literatura.

**Palabras Clave: Huella de carbono, Biogás, Biometano, Mitigación de GEI.**

## **INTRODUCCIÓN**

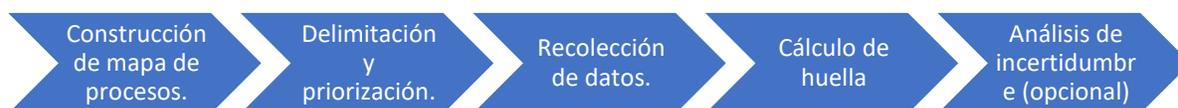
El sector energético es el principal responsable de las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI), las cuales causan el calentamiento global y el consecuente cambio climático. Según datos de la Secretaría de Energía (SENER), en el 2016 el consumo final de energía en México fue 9,140.19 PJ, donde los combustibles fósiles representan el 86.8% a la producción de energía primaria, 7.1% menor respecto a lo observado en 2015. La producción de fuentes no fósiles de energía primaria aumentó su participación, pasando de 9.3% a 9.9% de 2015 a 2016 (SENER, 2016) a pesar de esto sigue existiendo una alta dependencia a los combustibles fósiles, razón suficiente para buscar fuentes energéticas alternativas. Sin embargo, la razón que cobra cada vez más fuerza tiene que ver con evitar los impactos negativos del calentamiento global, el cual tiene como causa el aumento en la concentración de gases de efecto invernadero (GEI). Para que una fuente energética y sus tecnologías específicas representen una alternativa real a los combustibles fósiles en la creación de un sistema energético sostenible, es necesario que esta tecnología cuente con las menores emisiones de GEI con respecto a los combustibles fósiles.

La producción y uso de biocombustibles a nivel global ha adquirido gran popularidad durante los últimos años, vislumbrándose como una opción viable para mitigar problemas relacionados con el elevado consumo de combustibles fósiles, como es el caso del calentamiento global. Se ha comprobado que un uso adecuado de biocombustibles tiene un alto potencial de efectos positivos a nivel nacional, como es la mitigación de GEI, disminución de emisiones directas de metano (CH<sub>4</sub>), reducción de impactos ambientales negativos al disponer residuos orgánicos de forma incorrecta y promoción de generación de empleos, entre otros (Chum *et al*, 2011; Dale *et al*, 2015). Uno de estos combustibles es el biogás, biocombustible gaseoso producto de la digestión anaerobia de materia orgánica que puede ser aprovechado energéticamente para la generación de calor y/o electricidad, o bien, limpiado y mejorado a biometano para ser utilizado en vehículos como sustituto de gas natural (Abbasi *et al*, 2012). Sin embargo, cualquier sistema energético de fuente renovable (como en este caso el biometano) debe cumplir con criterios de sustentabilidad, ya que su origen renovable no garantiza que su producción, conversión y uso final carezca de impactos ambientales (Da Costa Gómez, 2013). Lo anterior implica que sea necesario evaluar cada etapa del ciclo de vida del combustible para identificar posibles impactos ambientales generados en sus distintas etapas (cambio de uso de suelo, producción de biomasa, conversión, transporte, uso final).

A partir de esto, es posible la identificación de procesos, materias primas y procedimientos más adecuados desde un punto de vista ambiental. El indicador que se ha propuesto y empleado para estimar las emisiones de GEI asociadas a las fuentes de energía es la huella de carbono (HC) . El concepto se deriva de la huella ecológica y se define como “la medida de la cantidad total de emisiones de dióxido de carbono directa e indirectamente causadas por una actividad, o acumuladas sobre el ciclo de vida de un producto” (Wiedmann & Minx, 2008). En general, el análisis de la HC, abarca todas las emisiones de GEI que se emiten de forma directa e indirecta en el desarrollo de una actividad (Čuček *et al*, 2012).

## METODOLOGÍA

La HC se utilizó como metodología para estimar las emisiones de GEI en el ciclo de vida de las cadenas de generación de biometano seleccionadas, específicamente la metodología dictada por la PAS2050. Esta metodología consiste en la recopilación de datos primarios y secundarios que pudieran ser utilizados para el cálculo de la huella de carbono bajo la metodología seleccionada, es decir, bajo la metodología PAS 2050. Además, esta metodología consta de 5 etapas (figura 1):



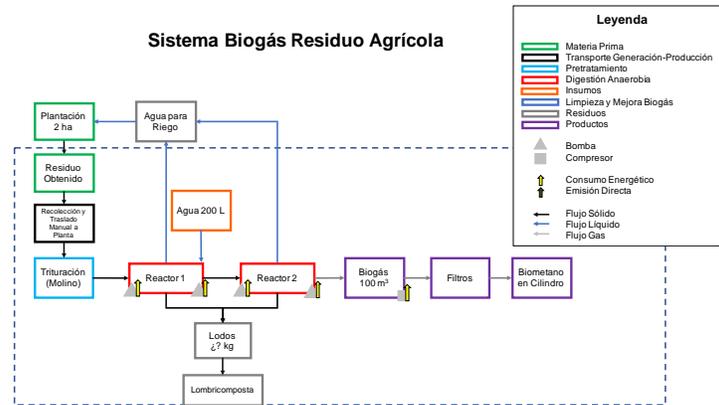
**Figura 1. Metodología PAS 2050. BSI, 2008.**

## RESULTADOS

Se comparó la huella de carbono de 4 cadenas de generación de biometano: 1) Residuos agrícolas, 2) FORSU-Agua residual, 3) Maíz Forrajero, 4) Co-digestión de FORSU+agua residual. Las dos primeras cadenas de generación fueron evaluadas con datos primarios de plantas existentes en el país, mientras que los otros dos provienen de la literatura. Posteriormente se comparó su HC con la del combustible convencional comparable, en este caso el gas natural mexicano, con la finalidad de evaluar la mitigación de GEI. Las actividades incluidas en la HC fueron consumo de energía y emisiones directas en los procesos estudiados (cradle to gate) con 1 MJ contenidos en el combustible como unidad funcional.

### **CASO 1: PLANTA DE GENERACIÓN DE BIOMETANO A PARTIR DE RESIDUOS AGRÍCOLAS**

El primer paso necesario para seguir la metodología PAS 2050 es la construcción del mapa de proceso, es decir el diagrama de flujo (figura 2). El diagrama tiene como finalidad identificar cada una de las etapas dentro de los límites del sistema, así como las entradas y salidas de materia y energía en cada una de las etapas del ciclo de vida de generación del biogás.



**Figura 2. Diagrama de flujo de Planta de generación de biogás a partir de residuos agrícolas + excretas animales. Datos primarios. Elaboración propia.**

A continuación, fue necesario recopilar datos del proceso, en esta planta fue posible recopilar datos primarios del proceso de producción de biogás. Los datos relevantes que se tienen hasta el momento se describen a continuación:

1. Descripción de la ruta tecnológica: Generación de biometano a partir de 6 toneladas de residuos agrícolas, 1200 litros de agua al día. La tecnología pertenece a una planta piloto ubicada en Michoacán. El sistema estudiado incluye las siguientes etapas:
  - Recolección de la materia prima.
  - Transporte de la materia prima hasta la planta de tratamiento.
  - Molienda de la materia prima en un molino de 20 Hp.
  - Digestión anaerobia en los Reactores 1 y 2, consecuente generación de lodos y biogás.
  - Compresión de Biogás.
  - Filtrado del biogás.
  - Finalmente, como producto se obtiene biometano.
2. Unidad funcional: 1 MJ de energía generada a partir de la digestión anaerobia de residuos agrícolas + excretas en una planta piloto ubicada en Michoacán.
3. Inventario: En esta etapa se llevó a cabo la recopilación de datos primarios con la finalidad de generar un inventario (tabla 1) que permita el cálculo posterior de la Huella de Carbono de la cadena bioenergética. El inventario permite observar las entradas y salidas de energía y materia en cada una de las etapas que integran el ciclo de vida de la generación de biogás. Así como identificar las etapas que representan puntos críticos.

<b>Etapas</b>	<b>Maquinaria</b>	<b>kWh</b>
Pretratamiento	Molino	14.7
	Bomba	3.68
Procesamiento	Bomba 1	35.3
	Bomba 2	35.3
	Bomba 1	35.3
	Bomba 2	35.3
Post tratamiento	Compresor 1	44.13
Emisiones directas	-	-

**Tabla 1. Inventario de datos primarios de la planta de generación de biogás a partir de residuos agrícolas al día. Elaboración propia.**

4. Cálculo de la HC de carbono del sistema 2: En esta etapa, con base en los datos primarios recopilados se calcula la Huella de carbono generada durante el ciclo de vida del biometano en esta planta (tabla 2). En la cual se encontró una HC de 9.3 gCO<sub>2</sub>eq/MJ por la cadena de generación de biometano.

<b>Etapa</b>	<b>Maquinaria</b>	<b>kWh</b>	<b>kgCO<sub>2</sub>e</b>
Pretratamiento	Molino y bombas	18	13.6
Procesamiento	Reactores y bombas	141	105
Post tratamiento	Compresor	44.2	32.7
Biometano		9.3 gCO <sub>2</sub> eq/MJ	

**Tabla 2. Huella de carbono de la cadena de generación de biometano.**

Además, se realizó un cálculo de la contribución de cada etapa de la cadena de generación de biometano a la huella de carbono final (figura 3).

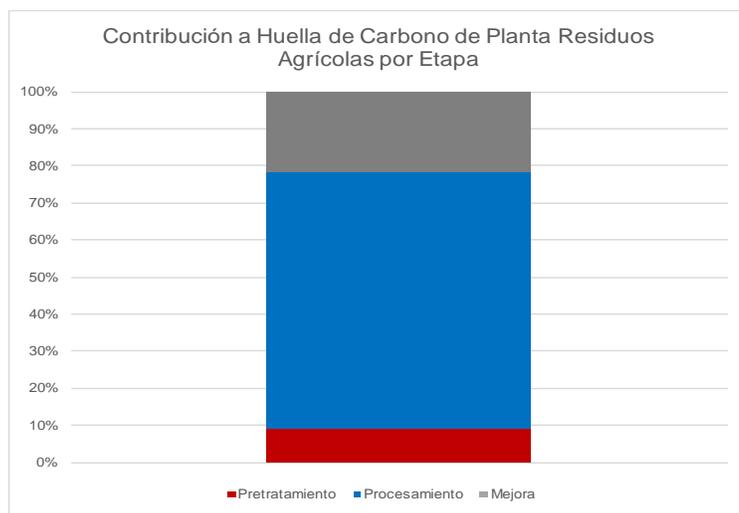


Figura 3: Contribución a huella de carbono de biometano proveniente de residuos agrícolas por etapa. Fuente: Elaboración propia.

## CASO 2: PLANTA DE GENERACIÓN DE BIOMETANO A PARTIR DE FORSU + AGUAS RESIDUALES

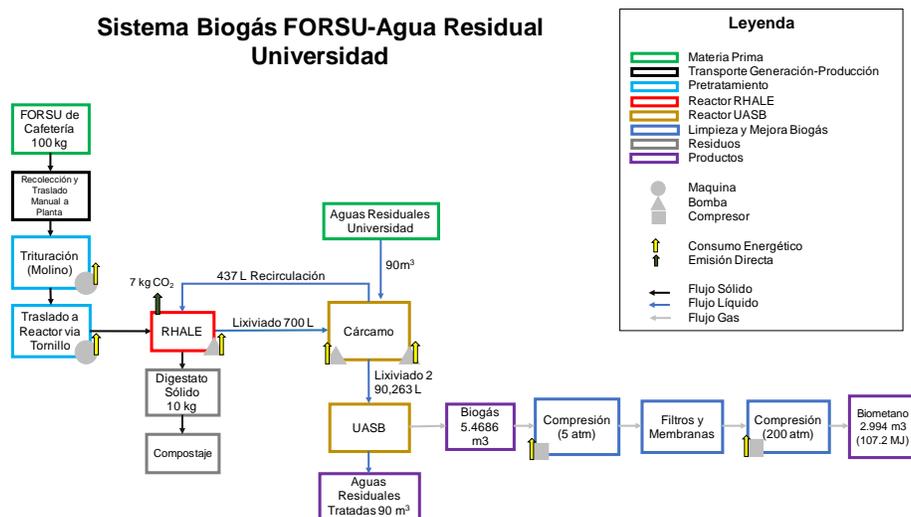


Figura 4: Diagrama de flujo de planta de generación de biogás a partir de FORSU y Aguas Residuales. Datos primarios. Elaboración propia.

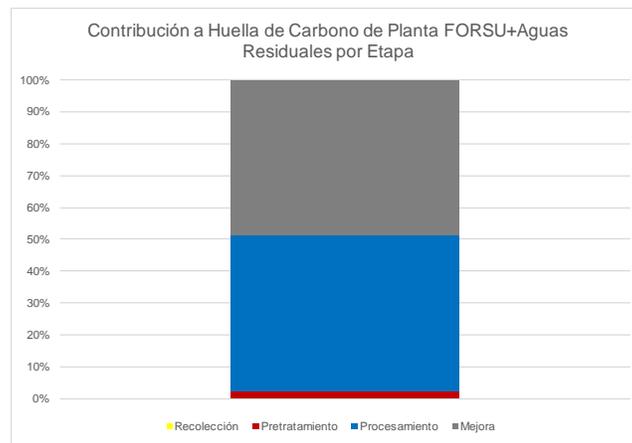
1. Descripción de la ruta tecnológica: Aprovechamiento de 100 kg de residuos orgánicos de cafetería y 90 m<sup>3</sup> de aguas residuales provenientes de una universidad. La tecnología pertenece a una planta piloto. Los datos aquí utilizados corresponden al funcionamiento actual de la planta, siendo que se han propuesto algunas modificaciones en un corto y mediano plazo. El sistema estudiado incluye las siguientes etapas:
  - Recolección de materia prima (100 kg) de FORSU.
  - Molienda de FORSU.
  - Transporte de FORSU hacia RHALE (reactor tipo reactor hidrolítico-acidogénico) a través de un molino de martillo.
  - Digestión anaerobia de FORSU en RHALE, incluyendo la generación de digestato sólido y lixiviado.
  - Procesamiento de lixiviado proveniente de RHALE y agua proveniente de la UAM.
  - Digestión anaerobia en el UASB (Reactor de lodo anaeróbico de flujo ascendente) del lixiviado proveniente de RHALE con su consecuente generación de biogás y aguas residuales.
  - Compresión de biogás a 5 atm.
  - Filtración de biogás.
  - Compresión de biometano.
  - Finalmente, como producto se obtiene biometano.
  
2. Unidad funcional: 1 MJ de energía generada a partir de residuos sólidos urbanos (FORSU).
  
5. Inventario: Al igual que con la cadena 1, en esta etapa se llevó a cabo la recopilación de datos primarios con la finalidad de generar un inventario (tabla 3) que permita el cálculo posterior de la Huella de Carbono de la cadena bioenergética. El inventario permite observar las entradas y salidas de energía y materia en cada una de las etapas que integran el ciclo de vida de la generación de biogás. Así como identificar las etapas que representan puntos críticos.

<b>Etapas</b>	<b>Maquinaria</b>	<b>kWh</b>
Transporte	Carretilla	-
Molinos	Molino	0.92
	M. Martillo	0.12
RHALE	Rociador	0.03
	Emisiones directas CO <sub>2</sub>	
Cárcamo	Bomba 1	5.52
	Bomba 2	5.52

UASB	-	-
Compresión	Compresor 1	4
	Compresor 2	17.6
Emisiones directas	Metano	-
	CO <sub>2</sub>	-

**Tabla 2. Datos primarios de la planta de generación de biogás a partir de FORSU y aguas residuales.**

También para esta cadena se generó un cálculo para conocer la contribución de cada una de las etapas de generación al total de emisiones atribuibles (figura 5). Los resultados indican que tanto la etapa de procesamiento como la etapa de mejor del biogás a biometano tienen una contribución mu elevada al impacto final. Por lo cual es importante realizar mejores en estas etapas con la finalidad de disminuir su huella de carbono.



**Figura 5: Contribución a huella de carbono de biometano proveniente de FORSU + Aguas Residuales por etapa. Fuente: Elaboración propia.**

Una vez calculadas la HC de las 2 plantas de biometano a las que se tuvo acceso, se agregaron los resultados de la huella de carbono de dos casos de literatura de sustratos parecidos para realizar una posterior comparación. El caso de maíz forrajero proviene de un reporte desarrollado por la Unión Europea con el fin de fungir como base de datos para el estudio de distintas cadenas de producción y aprovechamiento de biometano en Europa (Giuntoli *et al*, 2014). El caso de co-digestión de FORSU y aguas residuales viene de un estudio realizado en Argentina donde se buscó cuantificar la mitigación de impactos al aprovechar energéticamente dichos recursos (Morero *et al*, 2017). Asimismo, las HCs obtenidas fueron comparadas con su combustible convencional similar, gas

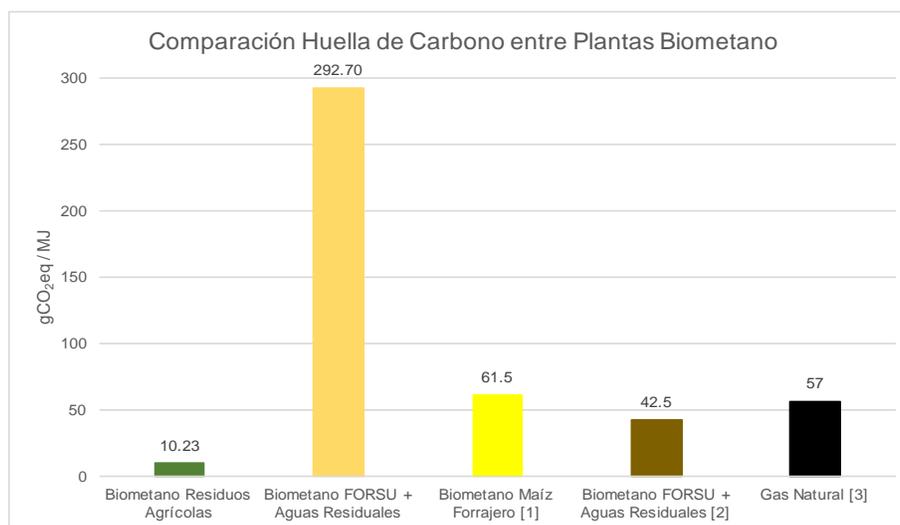
natural, para evaluar la mitigación de GEI. Las actividades incluidas en la HC fueron consumo de energía y emisiones directas en los procesos estudiados (cradle to gate) con 1 MJ contenidos en el combustible como unidad funcional.

## DISCUSIÓN Y CONCLUSIÓN

Los sistemas estudiados presentaron pocas entradas de materia y energía, donde la mayoría de los datos se refieren al consumo eléctrico de bombas, aspersores y compresores. Cabe destacar que únicamente en la planta de FORSU+AR existía algún registro de emisiones fugitivas (7 kg de CO<sub>2</sub> en el primer digestor) a lo largo de la cadena productiva.

Para el caso de la planta de residuos agrícolas, se observa que la etapa con mayor contribución a la HC es el procesamiento (65%), etapa compuesta por la misma digestión anaerobia y el traslado de la materia prima para esta. La necesidad de utilizar varias bombas eléctricas eleva considerablemente el consumo eléctrico y, por ende, su HC. A su vez, en la planta de FORSU+AR las etapas de procesamiento y mejora presentan una contribución similar (cerca del 45%, respectivamente). Cabe destacar que la contribución de la etapa de mejora es comparativamente mayor que en la otra planta, lo que refleja un elevado consumo de energía en forma de electricidad.

Una vez evaluadas la HC de las plantas seleccionadas y comparadas con sus símiles de la literatura se observó que únicamente una planta de las cuatro evaluadas (la planta piloto de FORSU+AR) posee una mayor que la perteneciente al gas natural (Fig. 6). En este caso, la mitigación es nula puesto que existe una contribución neta a la emisión de GEI de grandes dimensiones (-513.5%). Por su parte, el biometano de residuos agrícolas presenta la menor HC y una mitigación neta del 82% en comparación al gas natural de origen fósil.



**Figura 6: Comparación de HC entre plantas de biometano con distintos sustratos. Fuente: Elaboración propia con datos de [1] Giuntoli *et al*, 2014, [2] Morero *et al*, 2017, [3] INECC, 2014.**

No obstante, cabe destacar que la planta de la cadena 2 se encuentra sub-utilizada actualmente, puesto que, aunque fue diseñada para un tratamiento diario de 1 ton de FORSU, solo brinda tratamiento a 100 kg al momento de la captura de datos. Se cree que este fenómeno ocasiona que el consumo eléctrico de la maquinaria se observe sobredimensionado en relación a la unidad funcional elegida de 1 MJ, por lo que un aumento en el volumen de tratamiento diario reduciría los impactos calculados.

Además, se observó que en los dos sistemas evaluados en plantas existentes la etapa de mejora, que consiste en filtrado y compresión del biogás obtenido, presenta una contribución importante a los impactos debido a sus elevados consumos de electricidad de origen fósil provenientes de la red mexicana. Se cree que la implementación de equipos con un consumo energético menor, o bien, la instalación de electricidad proveniente de fuentes de energía renovable, pueden disminuir la HC de dichos sistemas.

Es importante mencionaron que se tomaron 2 casos de la literatura con la finalidad de poder comparar resultados de un mayor número de plantas de generación de biometano, ya que en la mayoría de las plantas generadoras del país no permiten la entrada para la toma de datos en campo al clasificar su proceso como confidencial, lo que dificulta la evaluación de mitigación real de las plantas del país. Se observó la necesidad de propiciar el uso del enfoque de ciclo de vida y huella de carbono para la evaluación de las plantas de generación de biogás, ya que este tipo de enfoques resultan importantes al permitir observar a un proceso como un conjunto de etapas de manera que pueden analizarse detalladamente con el objetivo de determinar cuáles procesos específicos poseen una mayor incidencia en los impactos potenciales, y así, disminuirlos para conseguir procesos más eficaces con potencial de mitigación.

Por lo tanto, se concluye que, si bien el biogás y biometano presentan un potencial de mitigación de HC al sustituir combustibles fósiles, se debe considerar que cada sistema de bioenergía es distinto y que su balance de GEI debe verificarse independientemente para demostrar que si exista una mitigación real de GEI de forma clara y transparente para evitar supuestos falsos.

## REFERENCIAS

1. Abbasi, T., Tauseef, S. M., & Abbasi, S. A. (2012). *Biogas Energy*: Springer.
2. Chum H, Faaij A, Moreira J, Berndes G, Dhamija P, Dong H, Pingoud K (2011). Bioenergy. In IPCC Special Report on Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation, (eds Edenhofer O, Pichs-Madruga R, Sokona Y, Seyboth K, Matschoss P, Kadner S, Zwickel T, Eickemeier P, Hansen G, Schlomer S, Von Stechow C), pp. € 209–332. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
3. Da Costa Gomez, C. (2013). 1 - Biogas as an energy option: an overview A2 - Wellinger, Arthur. In J. Murphy & D. Baxter (Eds.), *The Biogas Handbook* (pp. 1-16): Woodhead Publishing.
4. Secretaria de Energía (SENER). 2016. Balance Nacional de Energía 2016. [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/288692/Balance\\_Nacional\\_de\\_Energ\\_a\\_2016\\_\\_2\\_.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/288692/Balance_Nacional_de_Energ_a_2016__2_.pdf)
5. V.H. Dale, K.L. Kline, M.A. Buford, T.A. Volk, C.T. Smith, I. Stupak Incorporating bioenergy into sustainable landscape designs *Renew. Sustain. Energy Rev.*, 56 (2016), pp. 1158-1171 <http://authors.elsevier.com/sd/article/S1364032115014215>

6. Wiedmann, T. & Minx, J. (2008). A Definition of 'Carbon Footprint'. In: C. C. Pertsova, Ecological Economics Research Trends: Chapter 1, pp. 1-11, Nova Science Publishers, Hauppauge NY, USA.  
[https://www.novapublishers.com/catalog/product\\_info.php?products\\_id=5999](https://www.novapublishers.com/catalog/product_info.php?products_id=5999)
7. BSI. (2008a) *PAS 2050: 2008 Specification for the assessment of the life cycle greenhouse gas emissions of goods and services*. British Standards Institute, Carbon Trust & Department for Environment, Food and Rural Affairs. UK.
8. Čuček, L., Klemeš, J. J., & Kravanja, Z. (2012). A Review of Footprint analysis tools for monitoring impacts on sustainability. *Journal of Cleaner Production*, 34, 9-20.  
[doi:http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2012.02.036](http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2012.02.036)
9. Giuntoli, J., Agostini, A., Edwards, R., & Marelli, L. (2014). Solid and gaseous bioenergy pathways: input values and GHG emissions. *Report EUR*, 26696.
10. Morero, B., Vicentin, R., & Campanella, E. A. (2017). Assessment of biogas production in Argentina from co-digestion of sludge and municipal solid waste. *Waste Management*, 61(Supplement C), 195-205. [doi:https://doi.org/10.1016/j.wasman.2016.11.033](https://doi.org/10.1016/j.wasman.2016.11.033)
11. INECC. (2014). *Factores de emisión para los diferentes tipos de combustibles fósiles y alternativos que se consumen en México*. Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático. SEMARNAT. México D.F.

#### **2.2.14 Evaluación de la composición química, térmica y físico-mecánica de la cáscara de mazorca de cacao, con fines de elaboración de tableros aglomerados, usando resina poliéster.**

##### **Andrés Felipe Díaz Oviedo**

Diseñador industrial UIS, Docente Universidad de Pamplona, Maestrante Ingeniería Industrial, Investigador Grupo PUNTO.

##### **Bladimir Ramón Valencia**

Ph.D. Ingeniería de Materiales, Profesor asociado, Universidad de Pamplona, Grupo de Investigación en Ingeniería Mecánica

##### **Diana Stefan Villamizar Fuentes**

Ing. Químico, Grupo de Investigación en Ingeniería Mecánica, Pamplona.

**Dirección:** Avenida Santander # 11-80, casa 13, Las Gardenias – Pamplona/Norte de Santander – Código postal 00000 – Colombia- Tel: (+57) 3165233766

**Email:** andresfelipediazoviedo@gmail.com

## **RESUMEN**

Colombia produce 54.785 toneladas de cacao al año, en donde el 23% de la mazorca corresponde al fruto que es utilizado para la producción del chocolate, y el 77% correspondiente a la cáscara, equivalente a 183.410 toneladas/año. Principalmente, la cáscara de cacao se considera un desecho no reutilizable, ocasionando un impacto medioambiental de gran envergadura por el desprendimiento de gas metano que se produce de forma natural por la descomposición de sustancias orgánicas en ambientes pobres en oxígeno, convirtiéndose en un agente responsable del calentamiento global más potente que el dióxido de carbono. Por tanto, en la siguiente investigación se realizó la evaluación de la composición química, termogravimétrica y morfológica de la cáscara de cacao para una variedad CCN51, producida en el departamento de Santander, con el propósito de estudiar la viabilidad de este residuo para la fabricación de un tablero aglomerado. Entre los resultados más relevantes en la composición química, se muestran valores de los microconstituyentes como la lignina con un 47%, celulosa 37% y hemicelulosa 12 % respe.

Cabe resalta que las cantidades de celulosa y lignina son representativas en la composición del residuo, entre tanto, el porcentaje de extraíbles del 3% es muy baja, esto indica que el material se puede degradar fácilmente por agentes externos como la humedad.

Los termogramas del TGA/DTA muestran cuatro etapas que revelan la fragmentación de la estructura con respecto a la temperatura. Se observa la evaporación de la humedad en su primera fase, en el segundo pico se observa la descomposición de la hemicelulosa, en el tercer pico y el más pronunciado está asociado con la despolimerización de la celulosa y por último se aprecia el pico cuarto donde se degrada la lignina.

**PALABRAS CLAVES:** Residuos agroindustriales, tableros aglomerados, agroindustria, caracterización.

## INTRODUCCIÓN

Este trabajo se realizó dentro del área de creación de nuevos materiales soportados en el desarrollo sostenible, aprovechando los residuos agroindustriales de las cadenas productivas del cacao.

Actualmente, la cáscara de la mazorca del cacao es considerada como desecho del proceso agrícola de producción del cacao, una parte de estos desechos son usados como abono para el mismo cultivo que genera una gran desventaja como proliferación de patógenos que afectan la producción. (Martínez, 2015). Por esta razón se busca dar solución a la problemática de disposición de estos residuos, por lo tanto, se elaboran y evalúan tableros aglomerados a partir de estos residuos usando resina de poliéster como adhesivo de las partículas.

A partir de la elaboración y evaluación de la calidad de los tableros aglomerados se pretende mostrar una posible fuente de ingresos a los productores y solucionar la problemática del manejo de subproductos, proyectando el resultado como sustitutos de los tableros aglomerados comercializados actualmente que son producidos a partir de bosques maderables.

## MATERIALES Y MÉTODOS

La cáscara de cacao se obtiene de varias fincas del municipio de San Vicente de Chucurí, en el departamento de Santander, el cual es el mayor productor del país con 8,315 toneladas al año (FEDECACAO, 2016). Se utiliza la variedad CCN 51 debido a que es la que genera mayor producción por hectárea al año.

La materia prima se utilizó en dos estados dependiendo de las pruebas realizadas, para la prueba de humedad, cenizas y extraíbles se tomó un gramo de la muestra sin ningún pre-tratamiento; para la segunda muestra se secaron 25 kilos de materia prima durante 72 horas a 50°C, ésta se usó para el análisis TGA, análisis SEM, y elaboración de los tableros.

La determinación de cenizas realizó bajo la norma ANSI/ASTM D1102-56. Inicialmente se calcinó un crisol a 550°C en una mufla durante una hora, luego se retiró e introdujo inmediatamente a una desecadora durante 30 minutos para después pesarlo. Se pesaron 4 gramos de muestra previamente seca y tamizada. Se realizó un proceso de pre-cenizas; el cual consistió en calentar controladamente la muestra en el crisol mediante un mechero para evitar la ignición de la muestra. Después se introdujo el crisol a la mufla a 550°C durante 4 horas, pasado este tiempo, se llevó el crisol al desecador por 30 minutos y se pesó hasta obtener una masa constante.

La determinación de extraíbles (grasas, ceras y resinas) se realizó bajo la norma ANSI/ASTM D1105-56. Se pesaron 4 gramos de muestra. Se armó un dedal con papel filtro y se introdujo en el condensador a reflujo del equipo de extracción soxhlet. El balón del equipo soxhlet con capacidad

de 250 ml, se llenó con una mezcla en una proporción 3:2 de tolueno-Alcohol etílico (99,5%) hasta completar 150 ml. Se realizó cada extracción durante 6 horas, se dejó enfriar el sistema y se separó el solvente de la muestra residual. El solvente se sometió a ebullición hasta reducir el volumen a 10 ml, seguido se transfirió a un crisol previamente tarado y se introdujo en horno a 105°C por 4 horas, luego se enfrió y se pesó en crisol para calcular el contenido de extraíbles, mediante la siguiente ecuación 1

$$\% \text{Extraíbles} = \frac{\text{masa final de la muestra}}{\text{masa inicial de la muestra}} * 100 \quad \text{ecuación 1}$$

La determinación de lignina se realizó bajo la norma TAPPI 13-os-54. Se pesó 1 gramo de muestra libre de extraíbles, se le colocó en un Erlenmeyer de 125 ml y se le añadió 15 ml de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> al 72%, se mantuvo la mezcla en agitación constante y sin calentamiento por 3 horas. Posteriormente se colocó la muestra en un balón de 1000 ml con perlas de ebullición y se le añadió 560 ml de agua, se dejó en reflujo por 4 horas, se enfrió a temperatura ambiente y se filtró al vacío con papel filtro previamente pesado. El residuo depositado en el papel filtro se lavó con 500 ml de agua caliente y se secó en horno a 105°C por 3 horas, luego se enfrió en el desecador y se pesó. Para calcular el porcentaje de lignina se utilizó la ecuación 2.

$$\% \text{ Lignina} = \frac{\text{masa inicial de la muestra} - \text{masa final de la muestra}}{\text{masa inicial de la muestra}} * 100 \quad \text{ecuación 2}$$

La determinación de celulosa se realizó bajo la norma TAPPI 17 m-55. Se pesaron 2 gramos de muestra libre de extraíbles y se colocaron en un Erlenmeyer de 125 ml para posteriormente añadirles 50 ml de solución de hipoclorito de sodio al 10% y se dejó reposar sin agitación a temperatura ambiente durante 8 horas, luego se filtró el material con ayuda de una bomba de vacío sobre un papel filtro y se lavó con 50 ml de agua destilada, 50 ml de bióxido de azufre al 3%, 50 ml de agua destilada y finalmente con una solución de sulfito de sodio al 2% hasta que la muestra tomó una coloración rosada tenue, en este punto se transfirió el material a un vaso de precipitado, se retiraron los residuos con solución de sulfito de sodio al 2% en porciones de 15 ml hasta completar 105 ml y se dejó reposar el material en esta solución durante 30 minutos, se filtró y se lavó el contenido con 250 ml de agua destilada, luego se llevó a secar en el horno a 105°C por 3 horas, se dejó enfriar en el desecador y se pesó. Para calcular el porcentaje de lignina se utilizó la ecuación 3.

$$\% \text{ Celulosa} = \frac{\text{masa inicial de la muestra} - \text{masa final de la muestra}}{\text{masa inicial de la muestra}} * 100 \quad \text{ecuación 3}$$

La determinación de hemicelulosa se realizó bajo la norma TAPPI 19 wd-71. Se realizó el procedimiento para la determinación de pentosanos, para esto se armó el equipo de destilación y se acopló al balón un embudo de separación, luego se agregó en él 1 gramo de muestra libre de extraíbles, magneto y 100 ml de HCl 3,5 N, posteriormente en un embudo de separación se colocaron 300 ml de HCl 3,5 N. Se llevó a ebullición la mezcla hasta recoger 300 ml de destilado, se trasladó el destilado a un Erlenmeyer de 1 Litro y se agregaron aproximadamente 250 g de hielo picado y 50 ml de agua destilada. Cuando la temperatura fue menor de 0°C, se añadió 20 ml de solución de bromuro bromato 0,2 N, se tapó el Erlenmeyer y se agitó fuertemente durante 5 minutos, finalmente se adicionaron 10 ml de solución de yoduro de potasio al 10% y unas gotas de almidón como indicador, se tituló la muestra con una solución de tiosulfato de sodio al 0,1 N.

Para poder obtener un valor referencial, se realizó un blanco en el cual se utilizaron 270 ml de HCl 3,5 N, 80 ml de agua destilada, 250 g de hielo y 20 ml de solución bromuro bromato, se tituló y se midió el gasto de solución de tiosulfato de sodio.

Como parte de la caracterización química se realizó la determinación de solubilidad de los materiales en hidróxido de sodio.

La determinación de humedad se llevó a cabo en la balanza de humedad PRECISA XM60, la cual determina automáticamente la humedad de los sólidos. El método es termogravimétrico (basado en la pérdida de masa de la muestra). Las muestras analizadas se trataron en su estado natural (residuo). (Naranjo Vasquez, 2012) Para esta prueba se pesó 1 gramo de materia prima, se sometió a calentamiento controlado a 105°C hasta obtener un peso constante y registrando los valores inicialmente cada 20 segundos durante 1 minuto, después cada 30 segundos durante 15 minutos y para finalizar cada 3 minutos hasta que el peso se mantuvo constante por más de diez minutos.

El análisis TGA se llevó a cabo mediante el equipo SDT-Q600 de TA Instruments. Aproximadamente 10 mg del residuo se analizó en un intervalo de temperatura ambiente hasta 620°C con una rampa de calentamiento de 10°C/min, en atmósfera de Argón con flujo de 100 ml/min. (Parra & López, 2011).

Para la elaboración de los tableros aglomerados el proceso de secado es de vital importancia y el principal objetivo es retirar la humedad de los materiales, la humedad para la elaboración de los tableros aglomerados se debe mantener en máximo un 13% según la norma para tableros de partículas de madera ASTM-D-1554-10 (ASTM, 2011).

Al elaborar los tableros intervinieron variables como la presión, el tiempo y el porcentaje de resina. Para el tiempo de compresión se tuvo en cuenta la ficha técnica del adhesivo utilizado, en esta investigación se trabajó con resina de poliéster pre-acelerada POLIESCOL, esta resina cuenta con un tiempo de gel entre los 14 y 18 minutos, teniendo en cuenta la temperatura promedio del sitio de trabajo (17°C) y la cantidad de resina utilizada se optó por dejar durante 12 horas cada tablero aglomerado en el proceso de prensado para lograr un curado uniforme mientras se ejercía presión. La presión utilizada se determinó haciendo un barrido bibliográfico de otros residuos agroindustriales usados para elaborar tableros aglomerados, pero, se determinó en promedio 550 kg/cm<sup>2</sup>, debido a que en pruebas preliminares se encontró que por debajo los tableros no tenían consistencia y por encima se destruían al contacto.

Para establecer el tamaño de partícula se hizo necesario hacer una prueba granulométrica y se escogieron los tamaños de partícula que representan una mayor proporción respecto a la cantidad tamizada. El tamaño de partícula influye en gran medida; se requieren tamaños con un rango aproximado de 2 a 5 mm de longitud para que la unión con los elementos sea homogénea. (Caicedo & Salamanca, 2011; Lias et al., 2014)

El mezclado del material con el adhesivo (resina) debe ser lo más homogéneo posible, logrando la humectación de cada partícula de material para que al momento del prensado haya una distribución uniforme del adhesivo. Un mezclado adecuado permite una excelente distribución en las cargas. (Caicedo & Salamanca, 2011). Por tanto mediante una espátula de laboratorio en un recipiente de polietileno se procedió a agregar una pequeña cantidad de material junto a una porción de resina y se fue mezclando hasta que las partículas del material se vieran totalmente impregnadas, este paso se realizó hasta completar la cantidad de material y resina para colocar en el proceso de compresión, teniendo en cuenta que el proceso tiene que ser lo más homogéneo posible y transcurrir en un tipo aproximado al tiempo gel (aproximadamente 15 minutos) para pasar al prensado del tablero aglomerado. La cantidad de resina es un factor determinante en el momento de formar aglomerado

y no debe sobrepasar el 20% del peso total del material. (ASTM, 2011). La resina de poliéster POLIESCOL es una resina pre-acelerada, se hizo necesario mezclarla con catalizador MECK-peróxido.

La presión del proceso debe asegurar que el material se va a compactar junto al adhesivo, logrando obtener un tablero aglomerado de apariencia uniforme y estable. El prensado influye en algunas propiedades de producto, como lo son la densidad del tablero y la resistencia a la flexión. (Novoa Carrillo, 2005) Por esta razón y según protocolos ya establecidos se optó por aplicar una carga de aproximadamente 25 Toneladas (550 kg/cm<sup>2</sup>) (Infomadera, 2010; Martín, Molina, García, & Rodríguez, 2004; Tapia Bastidas, 2007) el proceso de prensado se llevó a cabo en la prensa hidráulica del laboratorio de materiales de la Universidad de Pamplona, colocando el material junto con la resina mezclados en el molde de la máquina previamente engrasados para asegurar una buena descompresión del tablero.

La caracterización físico mecánica se realizó para determinar los parámetros de calidad de los tableros aglomerados y poderlos comparar los resultados obtenidos con los reportados en la literatura.

En la caracterización mecánica se realizaron pruebas destructivas de los tableros aglomerados con el objetivo de determinar las propiedades mecánicas de módulo de ruptura (MOR) y módulo de elasticidad (MOE).

Se realizaron pruebas de flexión estática para cada tipo de tablero fabricado, esto con el fin de obtener resultados de módulo de resistencia y módulo de elasticidad. Las pruebas se realizaron en el laboratorio de materiales de la Universidad de Pamplona en la máquina universal de ensayos SHIMADZU Serie UH – I Modelo 600 KN.

La prueba de flexión se realizó acorde a la norma española para tableros de partículas UNE 56711:1971 (UNE, 1971) y la Norma de la Sociedad Americana de Pruebas y Materiales ASTM D 1037-06. Las pruebas se realizaron por triplicado para cada tablero. Cabe resaltar que las medidas del molde de la máquina no corresponden a las medidas establecidas por las normas internacionales.

La velocidad del ensayo fue de 1 mm/min a cada probeta se le midieron tres dimensiones; largo, ancho y alto. La carga puntual se apoyó en el centro de la probeta, la distancia entre los puntos de apoyo fue de 14 cm. Se dio inicio al ensayo para cada probeta hasta que la probeta de material aglomerado produjo la primera falla o ruptura del material.

A partir de la prueba de flexión estática se obtiene los datos para el cálculo del módulo de ruptura y módulo de elasticidad.

El módulo de ruptura es una variable importante en la caracterización de los materiales, se define como la tensión máxima que un espécimen de prueba puede soportar en una prueba de flexión en tres puntos hasta que se rompe, expresado en N/mm<sup>2</sup> o MPa.

El módulo elástico es la razón entre el incremento de esfuerzo y el cambio correspondiente a la deformación unitaria. Mientras mayor el valor (módulo), más rígido el material. A la inversa, los materiales con valores bajos son más fáciles de doblar bajo carga.

## **ANÁLISIS DE RESULTADOS**

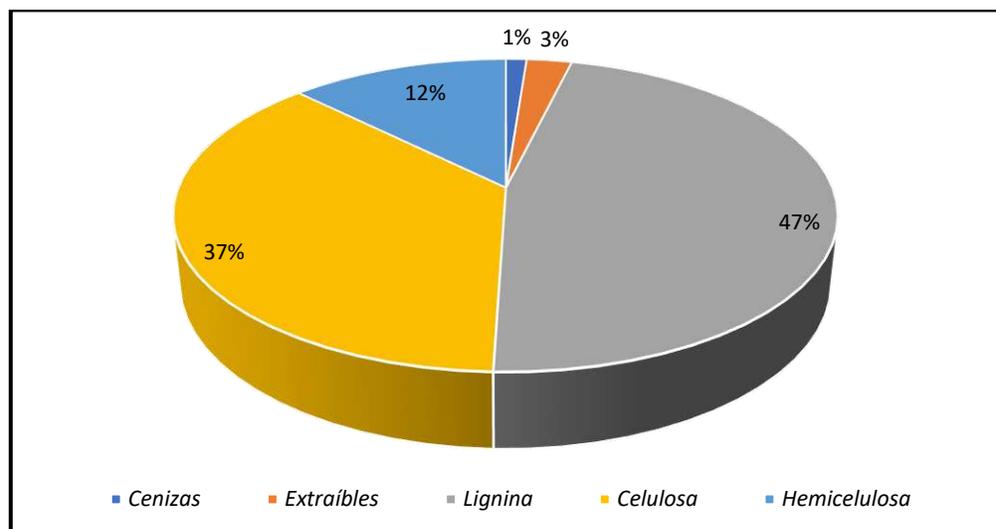
La tabla 1 muestra los resultados obtenidos para la caracterización química de la cáscara de mazorca de cacao, también analizados mediante el *software SPSS v.22* (versión de prueba). Los resultados de encuentran en porcentaje peso-peso. (%p/p)

**Tabla 1. Análisis estadístico composición química CMC**

	<b>N</b>	<b>Mínimo</b>	<b>Máximo</b>	<b>Media</b>	<b>Desviación estándar</b>	<b>Varianza</b>
<b>Cenizas</b>	3	1.0381	1.2377	1.1104	0.1106	0,0120
<b>Extraíbles</b>	3	2.2997	2.5475	2.4316	0.1247	0,0160
<b>Lignina</b>	3	42.4100	44.3000	43.6000	1.0359	1,0730
<b>Celulosa</b>	3	33.8900	34.9900	34.4433	0.5501	0,3030
<b>Hemicelulosa</b>	3	11.4500	12.0050	11.7483	0.2798	0,0780

La grafica 1 representa la composición de cada componente para la CMC, realizado en *Microsoft Excel (2016)*

**Gráfica 1. Contenido porcentual (%p/p) de los componentes químicos en CMC**



La composición de La CMC representada en la gráfica 1, muestra que el principal constituyente de este material es la lignina con un 47%, mientras que el menor son las cenizas con un 1%, la cantidad de extraíbles (3%) también es muy baja, esto indica que el material se puede degradar fácilmente

por agentes externos, como la humedad del ambiente lo cual afectaría el uso en un material aglomerado. La cantidad de hemicelulosa es menor por lo tanto disminuye la resistencia de las partículas debido que es matriz semicristalina de la celulosa. La cantidad de celulosa es menor respecto a otros residuos agroindustriales utilizados en la elaboración de tableros aglomerados; por ejemplo el yute con un 57% de celulosa o el bagazo de caña de azúcar con un contenido que varía desde el 49% hasta el 62%. (Mejía Almeida, 2012).

Se realizó una comparación de los componentes químicos determinados con los reportados en diversas publicaciones. La comparación se encuentra en la tabla 2.

**Tabla 2. Comparación de los datos de composición química para la CMC**

Componente	Datos obtenidos (%p/p)	Datos reportados en la literatura (%p/p) (Daud et al., 2013)
<b>Cenizas</b>	1.1104±0.1106	12.3±0.23
<b>Extraíbles (Tolueno-Etanol)</b>	2.4316±0.1247	No reporta
<b>Lignina</b>	43.6000±1.0359	14.7±0.35
<b>Celulosa</b>	34.4433±0.5501	35.4±0.33
<b>Hemicelulosa</b>	11.7483±0.2798	37.0±0.50

Las composiciones químicas en los materiales son diferentes dependiendo de su ubicación geográfica, clima, edades y estado del suelo. La cantidad de celulosa es muy semejante, además el cacao CCN51 es una especie no maderable, por tanto su contenido de celulosa tiende a estar entre 35,4%-37,9% (Shakhes, Marandi, & Zeinaly, 2011). El contenido de lignina hallado difiere mucho del reportado, pero de igual forma los factores externos influyen en este. Teniendo en cuenta que la lignina es uno de los componentes estructurales de las plantas que une a las fibras de celulosa entre sí el contenido hallado supone que un 43% en peso brindara una buena resistencia de material.

Como un aparte de la caracterización química se realizó la determinación de solubilidad del material en Hidróxido de sodio al 1%. También se realizó un análisis estadístico descriptivo usando el *software SPSS v.22* (versión de prueba). Los resultados se muestran en la tabla 3. Los resultados de encuentran en porcentaje peso-peso. (%p/p)

**Tabla 3. Análisis Estadístico Descriptivo solubilidad NaOH 1%**

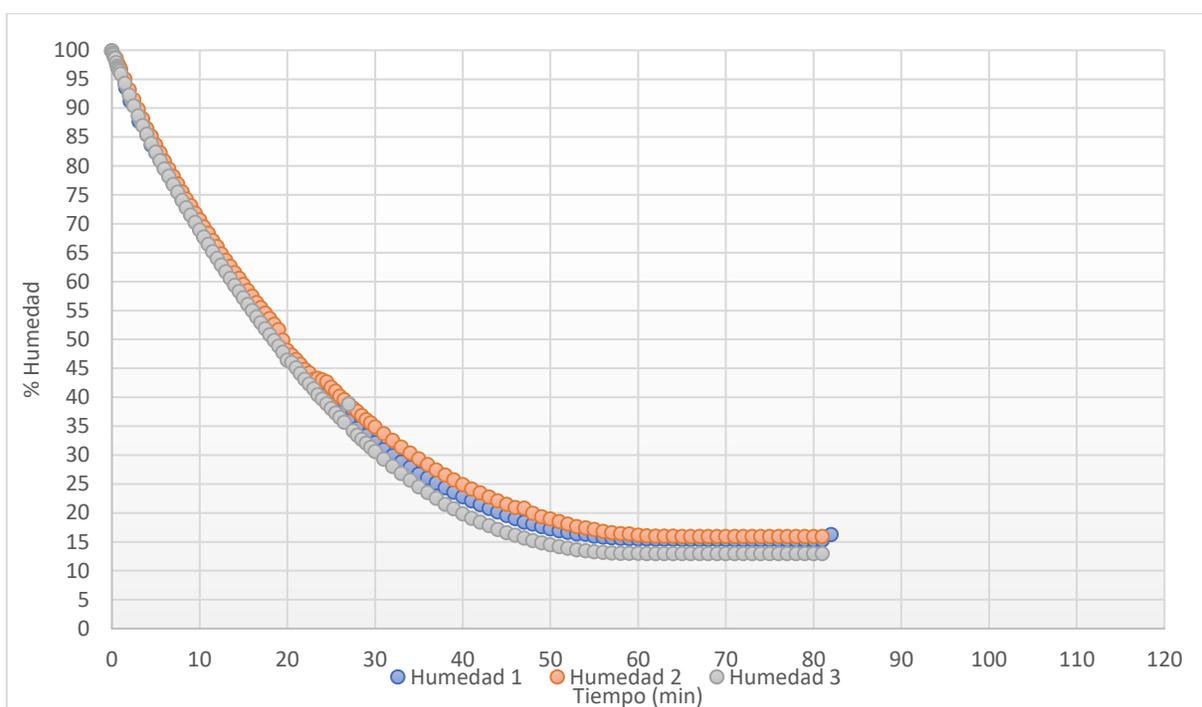
Material	N	Mínimo	Máximo	Media	Desviación estándar	Varianza
<b>CMC</b>	3	47.1300	48.0300	47.5067	0.4676	0,2190

La consecuencia de una alta solubilidad en NaOH indica el grado de degradación de los materiales. El NaOH disuelve los carbohidratos presentes en la CMC, los cuales son el sustrato a microorganismos, con lo cual se puede decir que a una mayor solubilidad el NaOH mayor tendencia al ataque por hongos y por tanto pérdidas estructurales del material. Los datos reportados indican que la solubilidad en NaOH al 1% para la cáscara de cacao es de 27,5 % (Daud et al., 2013).

### Determinación de humedad

Los resultados de la determinación de humedad se muestran en la grafica 2, las pruebas se hicieron por triplicado.

**Gráfica 1. Determinación de humedad de cáscara de mazorca de cacao**



La tabla 4 muestra el análisis estadístico realizado a partir de los datos obtenidos de humedad para la cáscara de cacao:

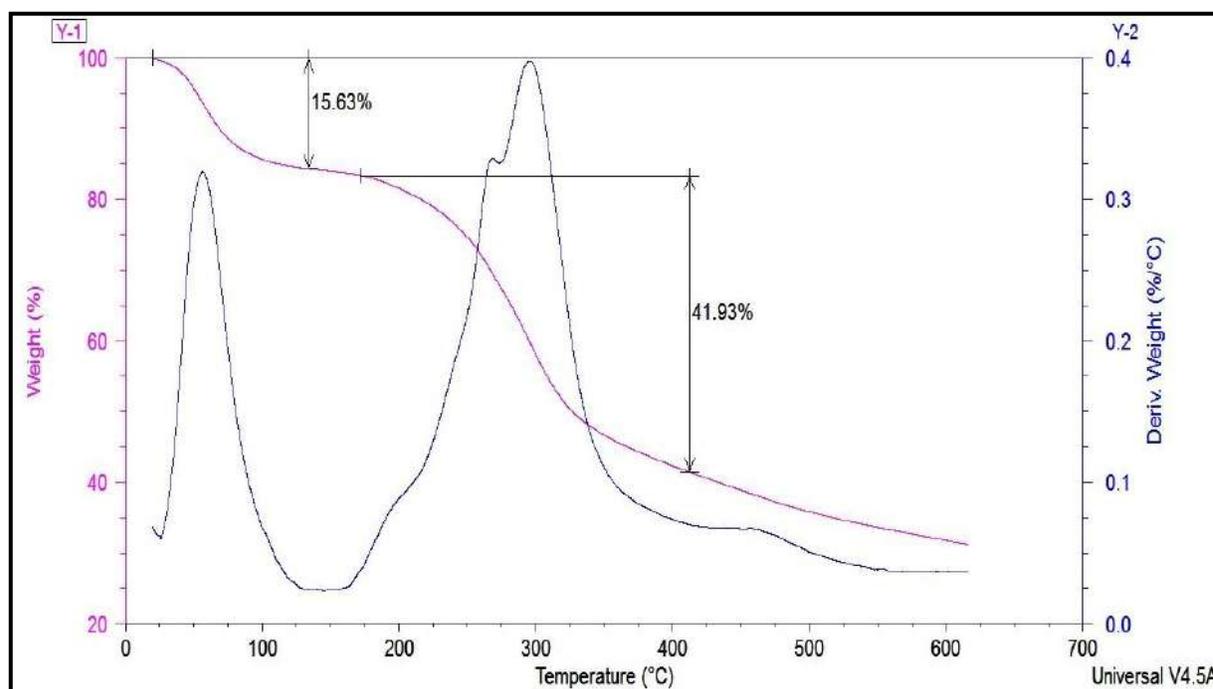
**Tabla 4. Análisis estadístico descriptivo humedad**

Material	N	Mínimo	Máxim o	Media	Desviación estándar	Varianza
CMC	3	12.960 0	16.260 0	15.046 7	1.8151	3,2950

El análisis de determinación de humedad realizado muestra que la cáscara de cacao contiene un 84,953%. Esta humedad es atribuida a la cantidad de agua presentes en la muestra, debido al proceso acelerado de descomposición, por tal razón la importancia de realizar un secado inmediato al material. De igual forma se sugiere que para la elaboración de los tableros aglomerados las partículas el contenido de las partículas no debe ser mayor al 13%. Una humedad alta está asociada con una menor adhesión entre las partículas debido a la acumulación de agua dentro del material.

En la gráfica 3 se muestra el resultado TGA, del cual se pueden observar tres etapas de degradación de masa, el primero corresponde a la evaporación de la humedad en la muestra; esta va desde una temperatura de 35°C hasta los 105°C, una segunda etapa que corresponde a la degradación de las hemicelulosas presentes en la muestra desde los 200°C hasta los 278°C, la degradación de la celulosa y lignina en una temperatura máxima de 293°C y 462°C respectivamente. La pérdida de masa por el contenido de humedad fue del 15,63%, un 41,93% entre la hemicelulosa y celulosa de la muestras, quedando un 42,74% de material del cual el 15,44% correspondía a pérdida de masa de la lignina. Los valores obtenidos concuerdan con los reportados en la literatura (Seong, Husseinsyah, & Osman, 2013) en la que la evaporación de la humedad se da entre los 30 y 100°C, la descomposición de la hemicelulosa de 200 a 350°C y las descomposición de la celulosa y lignina sobre los 300°C.

**Gráfica 3. TGA/DTA para la cáscara de cacao**



Se determinó la densidad aparente de tres tamaños obtenidos a partir del tamizado; malla # 20, 30 y 40 respectivamente, ya que estos representan la mayor fracción másica dentro del tamizado.

**Tabla 4. Densidad aparente de la materia prima**

<b>Material</b>	<b>Peso jeringa+ muestra (g)</b>	<b>Peso jeringa vacía (g)</b>	<b>Volumen jeringa (cm<sup>3</sup>)</b>	<b>Densidad aparente (g/cm<sup>3</sup>)</b>
<b>CMC- Sin tamizar</b>	6,70	4,00	5,00	0,54
<b>CMC- Malla 20</b>	6,30	4,00	5,00	0,46
<b>CMC-Malla 30</b>	6,00	4,00	5,00	0,40
<b>CMC-Malla 40</b>	5,90	4,00	5,00	0,38

### **Elaboración de tableros aglomerados**

Para la elaboración de los tableros aglomerados de partículas se realizó un secado de los materiales, la humedad de la materia prima es de 84,95%, por lo tanto, el proceso de secado se hizo por 72 horas a 50°C. Se verificó que la humedad residual de la cáscara seca fuera aproximadamente 10%, debido a que los materiales absorben humedad del ambiente.

Se realizaron varias pruebas preliminares con el fin de fijar variables del proceso de elaboración de tableros aglomerados de partículas. El primer parámetro evaluado fue la humedad de los materiales, por lo que se decidió elaborar varios tableros con diferentes contenidos de humedad, y se evaluaron propiedades cualitativas como la consistencia del tablero elaborado al ejercer una mínima presión de forma manual.

Respecto a la cantidad de material, después de hallar el volumen del molde de la prensa hidráulica (968,66 cm<sup>3</sup>), se realizó una comparación con la densidad de cada material para calcular la cantidad de material mostrados en la tabla 6.

**Tabla 5. Cantidad de residuos a utilizar ensayo 1**

<b>Material</b>	<b>Volumen del molde del molde (cm<sup>3</sup>)</b>	<b>Densidad de la muestra (g/ cm<sup>3</sup>)</b>	<b>Cantidad de material (g)</b>
<b>CMC</b>	968,66	0,54	523,08

Los resultados obtenidos son si se trabajara con el molde completamente lleno. Se realizó un ensayo bajo las condiciones de humedad al 10% (calculada mediante termobalanza PRECISA XM60) y con un contenido de 10% de resina de poliéster pre-acelerada POLIESCOL añadiéndole una cantidad del 2% v/v de catalizador MEK PEROXIDO (Gil, 2012), por ser un punto medio según los establecidos por la norma ASTM, la cual indica que para la elaboración de tableros aglomerados la cantidad de resina debe estar entre un 4% y un 20% (ASTM, 2006). La presión con la cual se trabajó fue de aproximadamente 44,12 MPa y respecto al tamaño materia prima se utilizó sin tamizar. El tiempo de

aglomeración dependió en gran medida del tiempo de curado de la resina, esta tiene un tiempo de gel de 14-18 minutos, sin embargo para asegurar un buen acabado de los tableros se dejó curar por 12 horas con la presión de la máquina, debido a la temperatura ambiente (17°C). Los tableros obtenidos se muestran en la gráfica 4.

**Gráfica 2. Tablero aglomerado de mazorca de cacao prueba 1**



Los tableros obtenidos bajo los parámetros establecidos anteriormente se desintegraron de una forma sencilla al ejercer presión manual, estos no presentan buena adherencia entre las partículas y esto se debe a que están presentes diversos tamaños que están impidiendo la cohesión matriz-refuerzo. Para las zonas donde sí hubo aglomerado presentaron poca desintegración, lo cual indica que la presión utilizada y el tiempo de curado dentro de la son óptimos para el proceso. El espesor de los tableros aglomerados fue de 1,5 cm.

Se realizó un segundo ensayo disminuyendo la masa, para esto se realizaron los cálculos para un volumen de 700 cm<sup>3</sup> (tabla 7). Basados en el anterior ensayo, se realizó un secado de las partículas hasta un 8% de humedad. Se realizó un tamizado, encontrando que para la materia prima de mayor fracción másica se encuentra retenida en las mallas # 20-30-40.

**Tabla 6. Cantidad de residuos a utilizar ensayo 2**

Material	Volumen del molde del molde (cm <sup>3</sup> )	Densidad de la muestra (g/ cm <sup>3</sup> )	Cantidad de material (g)
CMC- Malla 20	700,00	0,46	322,00

<b>CMC-Malla 30</b>	700,00	0,40	280,00
<b>CMC-Malla 40</b>	700,00	0,38	266,00

Se realizaron ensayos, empezando con una composición del 4% de resina para tableros aglomerados. Los resultados obtenidos se muestran en la gráfica 5.

**Gráfica 5. Tablero malla 40 elaborado con 4% de resina**



Los tableros aglomerados se desintegraron completamente, el único tablero que no se desintegró totalmente fue el elaborado con partículas de malla 20 con un 4% de resina. Los tableros obtenidos se muestran en la figura 6.

**Gráfica 6. Tablero malla 20 con 4% de resina**



Se puede observar que para este caso los resultados fueron satisfactorios, aunque la FFPA muestra zonas en las cuales no está completamente impregnada por la resina. Para la CMC se observa un poco de desprendimiento de las partículas del tamaño malla 30 y malla 40, mientras que las de malla-20 permanecen en el tablero, por lo tanto se procede a elaborar más tableros aglomerados a partir de las partículas retenidas en malla 20. Como previamente ya se había elaborado un tablero de CMC al 4% de resina se procedió a aumentar en 2% la cantidad de resina para la CMC con el fin de elaborarlos también al 6% y 8% de resina. Con esto se obtuvieron cuatro tableros aglomerados, pero

se optó por elaborar otros dos tableros con el máximo de resina permitido (20%) para tableros aglomerados (ASTM, 2011) y con un valor medio (15%).

Los parámetros que se fijaron a partir de las pruebas preliminares se muestran en la siguiente tabla:

### Caracterización físico-mecánica

Después de elaborados los tableros aglomerados, estos se cortaron para realizar la prueba de flexión estática, con la cual se pudo determinar MOR y MOE. Las dimensiones a las que se cortaron los tableros aglomerados fueron de 18,9 cm de largo y un ancho de 5 cm, el espesor fue propio de cada tablero después del proceso de descompresión este vario entre 0,8 cm y 1cm, lo cual indica que el espesor se ajusta a la norma ASTM, que señala que este debe ser mayor de 0,6 cm (ASTM, 2006). El ancho de 5 cm se ajustó a la norma UNE 56.711 debido a que el molde no cumplía con las medidas necesarias para hacer el ensayo según norma ASTM. (UNE, 1971). Se buscó realizar tres pruebas, es decir; de cada tablero cortar tres probetas. Algunos tableros aglomerados sufrieron rupturas antes de ser sometidos a la prueba de flexión estática, por lo que solo se utilizaron dos probetas de estos, los ensayos se muestran en la tabla 8.

**Tabla 8. Cantidad de ensayos para prueba de flexión estática**

<b>Tableros aglomerados</b>	
<b>Muestra</b>	<b>Numero de ensayos</b>
sin granulometría	2
tamiz 30	2
tamiz 40	2
tamiz 20-resina 4%	1
tamiz 20-resina 6%	3
tamiz 20-resina 8%	3
tamiz 20-resina 10%	3
tamiz 20-resina 15%	3
tamiz 20-resina 20%	3

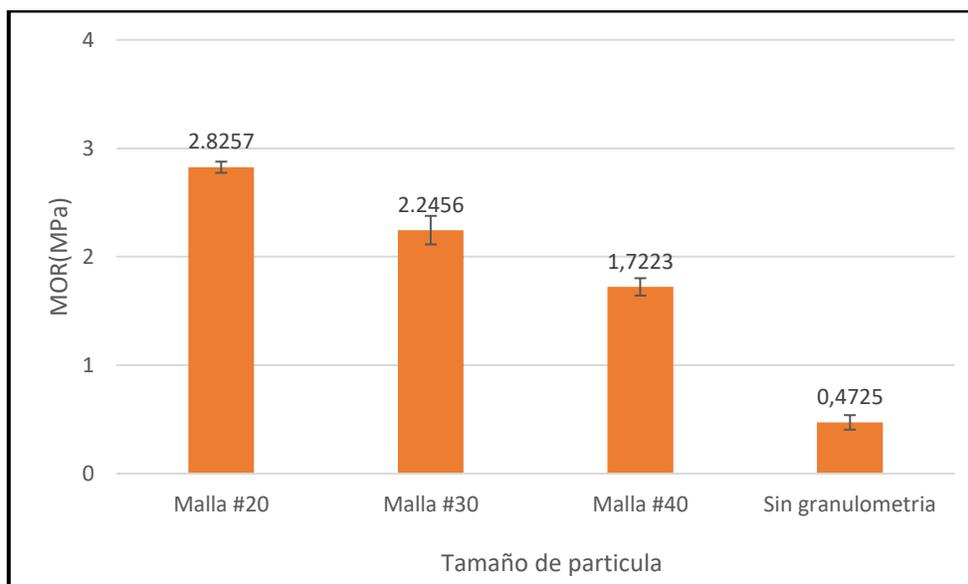
Se quiso comprobar mediante las pruebas mecánicas la selección del tamaño de partícula en el caso de la CMC, por esta razón en la tabla 9 se muestran los resultados del análisis estadístico del módulo de ruptura (MOR) para cada tablero elaborado con un 10% de resina.

**Tabla 9. Análisis estadístico de MOR (MPa) para selección de tamaño de partícula de CMC**

Muestra	N	Mínimo	Máximo	Media	Desviación estándar
Sin granulometría	2	0,4252	0,5197	0,4725	0,0668
Malla 20	3	2,7892	2,8844	2,8257	0,0514
Malla 30	2	2,1525	2,3387	2,2456	0,1317
Malla 40	2	1,6655	1,7790	1,7223	0,0802

En la tabla anterior se muestran únicamente resultados de módulo de ruptura (MOR), debido a que el módulo elástico (MOE) no fue posible de determinar ya que las gráficas obtenidas no presentaban tendencia alguna. A pesar de que se comprobó manualmente mediante la consistencia de los tableros que los que no tenían selección de tamaño (sin granulometría) y los retenidos en malla #30 y malla #40 no presentaban una buena consistencia al tacto, se realizó esta prueba para comprobar que el tamaño de partícula óptimo para la elaboración de tableros aglomerados de CMC es el retenido en el malla #20. Mediante la gráfica 7, por medio de un gráfico de barras se muestran los resultados del análisis estadístico realizado, los valores de las barras corresponden a los promedios obtenidos y a través de las barras de error se puede observar la desviación para cada prueba, la mayor desviación la presenta el ensayo realizado en malla #30 (0,1317).

**Gráfica 7. MOR para selección de tamaño**



La ruptura de estos tableros aglomerados se da en cargas inferiores a 70 N; para los de malla #30 en 53,4673 N  $\pm$  3,1357, para malla #40 en 41,00635 N  $\pm$  1,9115 y para los tableros sin selección de

tamaño de partícula (sin granulometría) en  $11,2500 \text{ N} \pm 1,5909$ , la carga promedio que soporta el tablero elaborado con partículas retenidas en malla #20 es de  $67,2795 \text{ N} \pm 1,2234$ . El efecto del tamaño de partícula en la elaboración de los tableros aglomerados según los valores obtenidos demuestra que a medida que disminuye el tamaño de partícula el tablero aglomerado soporta una menor carga y por tanto el MOR va a ser más bajo, sin embargo la prueba realizada sin seleccionar tamaño de partícula (sin granulometría) presenta el menor valor de la prueba, esto es debido a que la cohesión entre partículas grandes y pequeñas del material y la cantidad de resina usada es débil, además trabajos previos de elaboración de tableros aglomerados con otros materiales como el Kelempayan demuestran que a mayor tamaño de partícula propiedades como el módulo de elasticidad y el módulo de ruptura aumentan (Lias et al., 2014), igual que tableros aglomerados de cemento mezclados con partículas de madera los cuales mostraron que el módulo de ruptura, módulo de elasticidad, absorción de agua e hinchamiento están altamente correlacionados con la longitud y grosor de las partículas de la madera, demostrando que mayor tamaño las propiedades mecánicas y físicas aumentan (Badejo, 1988). Por esta razón los resultados obtenidos de módulo de ruptura (MOR) fueron el parámetro adecuado para seleccionar el tamaño de partícula para la elaboración de tableros aglomerados y a partir de estos se procedió a realizar los demás tableros aglomerados con tamaño de partícula retenida en tamiz#20.

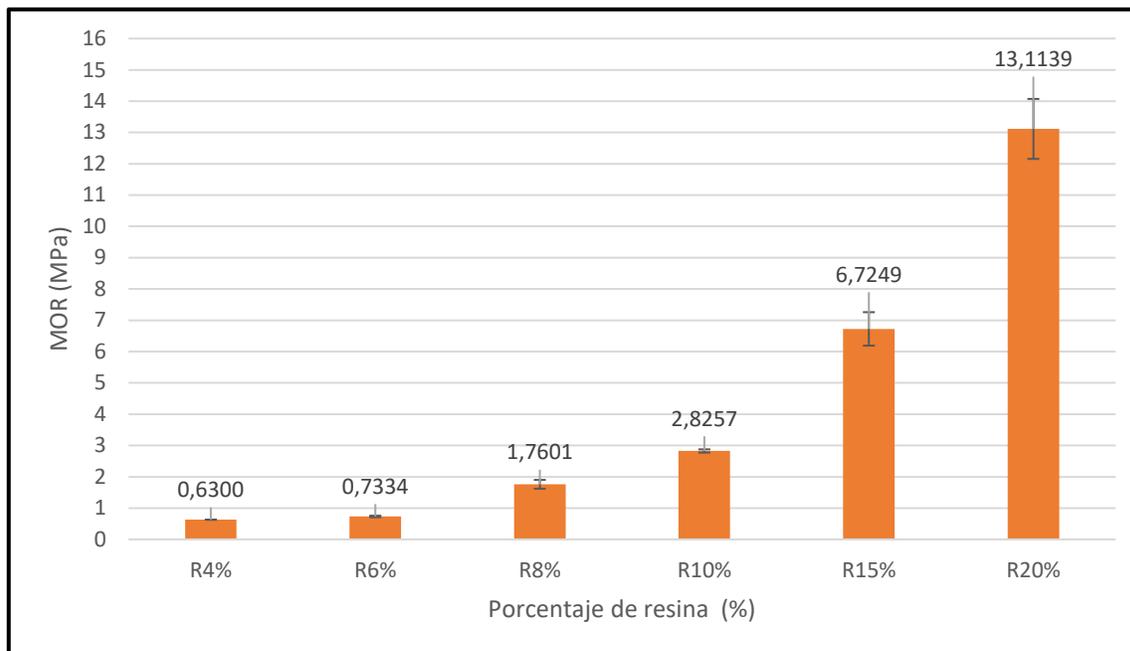
Los resultados obtenidos de módulo de ruptura (MOR) para los tableros aglomerados a partir de CMC en tamiz #20 se muestran en la tabla 10.

**Tabla 70. Análisis estadístico MOR (MPa)**

Muestra	N	Mínimo	Máximo	Media	Desviación estándar
tamiz 20-resina 4%	1	0,6300	0,6300	0,6300	.
tamiz 20-resina 6%	3	0,7086	0,7560	0,7334	0,0237
tamiz 20-resina 8%	3	1,6065	1,8819	1,7601	0,1404
tamiz 20-resina 10%	3	2,7892	2,8844	2,8257	0,0514
tamiz 20-resina 15%	3	6,1343	7,1735	6,7249	0,5339
tamiz 20-resina 20%	3	12,4105	14,2052	13,1139	0,9582

El valor promedio máximo de MOR para los tableros aglomerados de cáscara de cacao es de  $13,1130 \text{ MPa} \pm 0,9582$ , este valor se obtuvo con la cantidad máxima de resina permitida por la norma ASTM (20%), la carga promedio máxima que pueden soportar los tableros aglomerado de CMC es de  $312,2360 \text{ N} \pm 22,8141$ . En la gráfica 8 mediante un gráfico de barras se puede observar que a medida que aumenta la cantidad de resina en la composición del tablero aglomerado aumenta el módulo de ruptura de este.

**Gráfica 8. MOR para tableros aglomerados de CMC variando la cantidad de resina**



Al comparar los resultados obtenidos de MOR para tableros aglomerados de cáscara de cacao con otros reportados en la literatura para elaboración de tableros con residuos lignocelulósicos se obtuvo la tabla 11.

**Tabla 11. MOR de tableros aglomerados elaborados con residuos lignocelulósicos**

Residuo lignocelulósico	MOR (MPa)	Referencia
Cascara de maíz	5,6	(Madurwar, Ralegaonkar, & Mandavgane, 2013)
Cascarilla de arroz	6,5	
Cascara de maní	6,3	
Raquis de palma	9,75	(Mejia Almeida, 2012)
Bagazo de caña de azúcar	5,91	(Monteiro et al., 2011)
Racimo de plátano	14,29	(Quintana, Velásquez, Betancourt, & Gañán, 2009)

Corteza de coco	25,56	(Khedari, Nankongnab, Hirunlabh, & Teekasap, 2004)
-----------------	-------	--

El MOR de tableros aglomerados con residuos agroindustriales más bajo lo presenta la cáscara de maíz, mientras que el más alto la corteza del coco, con estos valores se estableció un rango en el que se encuentran los tableros elaborados con CMC con 15% y 20% de resina respectivamente. A pesar de que las condiciones de elaboración entre un material y otro varíen respecto a resina utilizada, presión y temperatura de termo conformado del tablero, este da un resultado satisfactorio para módulo de ruptura comparado con otros residuos agroindustriales usados para elaborar tableros aglomerados. Sin embargo, también se hace una comparación con tableros aglomerados comercializados en Colombia, fabricados a nivel industrial y mediante procesos tecnificados, los cuales utilizan resinas como la urea-formaldehído y melamínicas, en este caso se hizo la comparación con tableros aglomerados 9 mm de TAMBLEMAC.

Los tableros aglomerados elaborados por la empresa TABLEMAC presentan un MOR de 17,6519 MPa  $\pm$  1,9613 (180 Kg/cm<sup>2</sup>  $\pm$ 20) (TABLEMAC, 2016), esto es para un espesor de 9 mm. Los tableros de cáscara de cacao presentan un espesor de 10 mm, pero este espesor no se encuentra reportado para la empresa TABLEMAC, aun así la diferencia entre los tableros aglomerados industriales y los tableros de cáscara de mazorca de cacao es inferior a 5 MPa (4,538 MPa), esto demuestra que para el tablero aglomerado de CMC con 20% de resina a pesar que este parámetro no es igual ni superior al reportado por TABLEMAC es satisfactorio porque se está trabajando con un residuo lignocelulósico.

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La caracterización química realizada permitió comparar los resultados obtenidos respecto a los encontrados en la literatura.

La cáscara de mazorca de cacao posee como mayor componente químico la lignina por lo que los procesos de auto-adherencia son prometedores para elaborar tableros auto adheribles.

La cantidad de extraíbles en los residuos lignocelulósicos comprueban que estos crean una barrera hidrofóbica en los residuos lignocelulósicos.

La solubilidad en hidróxido de sodio al 1% indica que la cáscara de mazorca de cacao es vulnerable al ataque de hongos, lo que causará pérdidas estructurales en el material, por lo tanto, su almacenamiento debe ser controlado.

Los valores máximos de temperatura de descomposición térmica se dan en los 293°C lo que indica que es viable como materia prima para elaboración de tableros aglomerados.

Los módulos de ruptura se encuentran dentro de los valores reportados para otros tableros aglomerados con residuos lignocelulósicos y cercano al valor reportado de los tableros aglomerados comercializados en el país.

De los tableros de CMC la mayoría se encuentran clasificados en densidad media

La absorción de agua e hinchamiento indica que los tableros no son aptos para ambientes húmedos.

En general, las características mecánicas y físicas de los tableros aglomerados aumentaron a medida que aumentaba la cantidad de resina, obteniendo con un 20% de resina los mejores resultados.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALFÉREZ RIVAS, L. E. (2013).** selección de un proceso para la producción de tableros aglomerados a base de cascarilla de arroz. Universidad Jorge Tadeo Lozano.
- ARANZAZU HERNANDEZ, F., MARTÍNEZ GUERRERO, N., PALENCIA CALDERON, G., CORONADO, R., & RINCON GUARIN, D. (2009).** Manejo del recurso genético para incrementar la producción y productividad del sistema de cacao en Colombia. Retrieved from [http://www.fedecacao.com.co/site/images/recourses/pub\\_doctecnicos/fedecacao-pub-doc\\_01A.pdf](http://www.fedecacao.com.co/site/images/recourses/pub_doctecnicos/fedecacao-pub-doc_01A.pdf)
- ASTM. (2006).** Standard Test Methods for Evaluating Properties of Wood-Base Fiber and Particle.
- ASTM. (2011).** Standard Terminology Relating to Wood-Base Fiber and Particle Panel Materials D1554-10, 1(2005), 1–4. <http://doi.org/10.1520/D1554-10>. Copyright.
- BADEJO, S. O. O. (1988).** Effect of flake geometry on properties of cement-bonded particleboard from mixed tropical hardwoods. *Wood Science and Technology*, 370, 357–370.
- BARROSO CASILLAS, M. (2010).** Pretratamiento de biomasa celulósica para la obtención de etanol en el marco de una biorrefinería. Universidad Politécnica de Madrid.
- BAUER, S., & IBA, A. B. (2014).** Rapid Determination of Cellulose. *Biotechnology and Bioengineering*, 9999(xxx), 1–3. <http://doi.org/10.1002/bit.25276>
- CAICEDO, F., & SALAMANCA, C. S. (2011).** Elaboración de composites a base de resina poliéster, poliestireno postconsumo y aserrín. Universidad Industrial de Santander.
- CAPANEMA, E., & ROJAS, O. (2009).** Desarrollo de tableros aglomerados auto-enlazados a partir de fibra de la vena central de la hoja de plátano. *Prospect*, 7(2), 69–74.
- CLOTARIO, T., CECILIA, P., ALCIDES, L., & GALINDO, C. G. (n.d.).** ELABORACIÓN DE TABLEROS DE PARTICULA FINA A PARTIR DE RESIDUOS LIGNOCELULÓSICOS Y RESINAS.
- COCHARD, B., ADON, B., REKIMA, S., & BILLOTTE, N. (2009).** Geographic and genetic structure of African oil palm diversity suggests new approaches to breeding. *Tree Genetics & Genomes*, 493–504. <http://doi.org/10.1007/s11295-009-0203-3>
- CONFERENCIA MUNDIAL DEL SECTOR PALMA. (2015).** Documento informativo: Un informativo sobre el sector Palma africana. Santa Fé de Bogotá.
- CONTRERAS, W., OWEN, M., GARAY, D., & CONTRERAS, Y. (1999).** ELABORACION DE TABLEROS AGLOMERADOS DE PARTÍCULAS DE CAÑA BRAVA (*Gynerium sagittatum*) Y ADHESIVO UREA – FORMALDEHÍDO. *Revista Forestal de Venezuela*, 43, 129–135.
- CORLEY, R., & TINKER, P. (2003).** La palma de aceite. Editorial Blackwell Publishing Ltd.
- DAUD, Z., SARI, A., KASSIM, M., ARIPI, A. M., AWANG, H., HATTA, Z. M., ... PAHAT, B. (2013).** Chemical Composition and Morphological of Cocoa Pod Husks and Cassava Peels for Pulp and Paper Production. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, 7(9), 406–411.
- DIAS, LUIZ ANTÔNIO DOS SANTOS, & KAGEYAMA, P. Y. (1997).** Multivariate genetic divergence and hybrid performance of cacao (*Theobroma cacao* L.). *Brazilian Journal of Genetics*, 20(1). Retrieved from <https://dx.doi.org/10.1590/S0100-84551997000100012>
- DINERO, R. (2015).** Oportunidades para la producción de cacao. Retrieved October 7, 2016, from <http://www.dinero.com/economia/articulo/oportunidades-para-produccion-cacao-pais/209690>

- FEDEPALMA. (2013).** Minianuario Estadístico 2013. Santa Fé de Bogotá.
- FERRER CARRERA, A. (2013).** Aprovechamiento integral del residuo de la industria del aceite de palma (EFB). Obtención de derivados de las hemicelulosas, pastas celulósicas y celulosa nanofibrilar. Universidad de Córdoba.
- GARCÍA, JESUS ALBERTO; GARCIA, MANUEL; DAS, K. C. (2009).** Determinación de parámetros cinéticos de degradación térmica de subproductos de las plantas de beneficio mediante análisis termogravimétrico calorimetría de barrido diferencial, 51(4), 547–557.
- GARCÍA, J. A., CÁRDENAS, M., & YÁÑEZ, E. E. (2010).** Generación y uso de biomasa en plantas de beneficio de palma de aceite en Colombia. PALMAS, 31(2), 41–48.
- GATANI, M. ET AL. (2013).** Determinación de la influencia del tamaño y forma de partículas de cáscaras de maní en paneles aglomerados. Queg, 21, 67–80.
- GIL, A. (2012).** Resinas de poliéster. Medellín.
- HAGHIGHI, S., HOSSEIN, A., & TABATABAEI, M. (2013).** Lignocellulosic biomass to bioethanol , a comprehensive review with a focus on pretreatment. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 27, 77–93. <http://doi.org/10.1016/j.rser.2013.06.033>
- INFOMADERA. (2010).** Tableros de Fibras. Retrieved from [http://infomadera.net/uploads/productos/informacion\\_general\\_401\\_fibras.pdf](http://infomadera.net/uploads/productos/informacion_general_401_fibras.pdf)
- KHALIL, H. P. S. A., FAZITA, M. R. N., BHAT, A. H., JAWAID, M., & FUAD, N. A. N. (2010).** Development and material properties of new hybrid plywood from oil palm biomass. Materials and Design, 31(1), 417–424. <http://doi.org/10.1016/j.matdes.2009.05.040>
- KHEDARI, J., NANKONGNAB, N., HIRUNLABH, J., & TEEKASAP, S. (2004).** New low-cost insulation particleboards from mixture of durian peel and coconut coir. Building and Environment, 39, 59–65. <http://doi.org/10.1016/j.buildenv.2003.08.001>
- LETSUTTHIWONG, P., KHUNTHON, S., & SIRALERTMUKUL, K. (2008).** New insulating particleboards prepared from mixture of solid wastes from tissue paper manufacturing and corn peel. Bioresource Technology, 99, 4841–4845. <http://doi.org/10.1016/j.biortech.2007.09.051>
- LIAS, H., KASIM, J., ATIQA, N., JOHARI, N., LYANA, I., & MOKHTAR, M. (2014).** INFLUENCE OF BOARD DENSITY AND PARTICLE SIZES ON THE HOMOGENOUS PARTICLEBOARD PROPERTIES FROM KELEMPAYAN (Neolamarckia cadamba ). International Journal of Latest Research in Science and Technology, 3(6), 173–176. Retrieved from [http://www.mnkjournals.com/ijlrst\\_files/Download/Vol 3 Issue 6/33-62-20122014 INFLUENCE OF BOARD DENSITY AND PARTICLE SIZES ON THE HOMOGENOUS PARTICLEBOARD PROPERTIES FROM KELEMPAYAN.pdf](http://www.mnkjournals.com/ijlrst_files/Download/Vol 3 Issue 6/33-62-20122014 INFLUENCE OF BOARD DENSITY AND PARTICLE SIZES ON THE HOMOGENOUS PARTICLEBOARD PROPERTIES FROM KELEMPAYAN.pdf)
- MADURWAR, M. V., RALEGAONKAR, R. V., & MANDAVGANE, S. A. (2013).** Application of agro-waste for sustainable construction materials: A review. Construction and Building Materials, 38, 872–878. <http://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2012.09.011>
- MARTÍN, M. H. C., MOLINA, O. A., GARCÍA, M. A., & RODRÍGUEZ, L. E. S. (2004).** Tableros de madera de partículas. Ingeniería Y Ciencia, 3, 39–46.
- MARTÍNEZ, J. D. (2015).** Characterization and evaluation of cocoa ( Theobroma cacao L .) pod husk as a renewable energy source POD HUSK AS A RENEWABLE ENERGY SOURCE. Agrociencia, (JANUARY).
- MEJIA ALMEIDA, M. E. (2012).** ELABORACIÓN DE TABLEROS AGLOMERADOS AUTO-ADHERIDOS A PARTIR DE FIBRA DE RAQUIS DE PALMA AFRICANA (Elaeis guineensis Jacq.). Escuela Politécnica Nacional.
- MINISTERIO DE AGRICULTURA Y DESARROLLO RURAL. (2013).** Guía ambiental para el cultivo del cacao. Santa Fé de Bogotá. Retrieved from [http://www.fedecacao.com.co/site/images/recourses/pub\\_doctecnicos/fedecacao-pub-doc\\_05B.pdf](http://www.fedecacao.com.co/site/images/recourses/pub_doctecnicos/fedecacao-pub-doc_05B.pdf)

**MINISTERIO DE AGRICULTURA Y DESARROLLO RURAL. (2015).** Base Agrícola EVA 2007-2015. Retrieved from <http://www.agronet.gov.co/estadística/Paginas/default.aspx>

**MONTEIRO, R., FILHO, D. B., MARIN, L., MONTEIRO, K., OLIVEIRA, L., & ROBERTO, V. (2011).** Hybrid chipboard panels based on sugarcane bagasse , urea formaldehyde and melamine formaldehyde resin. *Industrial Crops & Products*, 33(2), 369–373. <http://doi.org/10.1016/j.indcrop.2010.11.007>

**MORÁN, J. (2008).** EXTRACCIÓN DE CELULOSA Y OBTENCIÓN DE NANOCELULOSA A PARTIR DE FIBRA SISAL - CARACTERIZACIÓN, (1), 16–17.

**NARANJO VASQUEZ, L. R. (2012).** Evaluación de los residuos vegetales con alto porcentaje de lignina de los cultivos de arroz, caña de azúcar y palma de aceite, ubicados en el departamento Norte de Santander para la generación de un material sustituto del aglomerado M.D.F. Universidad de Pamplona.

**NEREIDA, S., & GALVIS, B. (2011).** Estructura genética de poblaciones naturales de palma de aceite (*Elaeis guineensis* Jacq). Universidad Nacional de Colombia.

**NOVOA CARRILLO, M. A. (2005).** ELABORACIÓN Y EVALUACIÓN DE TABLEROSAGLOMERADOS A BASE DE FIBRA DE COCO Y CEMENTO. Universidad de Colima.

**PARRA, S. B., & LÓPEZ, C. Á. (2011).** Efecto de la temperatura de procesado sobre las propiedades mecánicas de tableros aglomerados sin resina sintética. *Prospect*, 9(2), 75–80.

**PATRICIA, A., MART, P., & SANTAMAR, E. (2014).** LA PALMICULTURA COLOMBIANA : SOSTENIBILIDAD ECONÓMICA , SOCIAL Y AMBIENTAL. *Revista de La Facultad de Ciencias Económicas Y Administrativas*, XV(1), 173–186. Retrieved from <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/4820631.pdf>

**PEREZ RINCON, M. A. (2014).** DINÁMICA DEL SECTOR PALMERO EN COLOMBIA Y LA REGIÓN DEL SUR DE BOLIVAR : ANALISIS DE SUS CONFLICTOS AMBIENTALES. *FEDEPALMA*, 1, 1–18.

**QUINTANA, G., VELÁSQUEZ, J., BETANCOURT, S., & GAÑÁN, P. (2009).** Binderless fiberboard from steam exploded banana bunch. *Industrial Crops and Products*, 9, 60–66. <http://doi.org/10.1016/j.indcrop.2008.04.007>

**RAMIREZ, N., SILVA, A., GARZÓN, E., & YAÑEZ, E. (2011).** Caracterización y manejo de subproductos del beneficio del fruto de palma de aceite. Santa Fé de Bogotá. Retrieved from [publicaciones.fedepalma.org/index.php/boletines/article/.../10492](http://publicaciones.fedepalma.org/index.php/boletines/article/.../10492)

**ROMERO ALVAREZ, Y. (2012).** Incidencia del PIB agropecuario en el PIB nacional Evolución y transformación. *Gestión Y Desarrollo*, 12.

**RUIZ BOLAÑOS, J. (2011, JUNE 11).** Cacao: de chocolate a combustible. *UNPERIODICO*, p. 24. Santa Fé de Bogotá. Retrieved from <http://www.unperiodico.unal.edu.co/dper/article/un-periodico-impreso-no-145.html>

**RUSCONI, M., & CONTI, A. (2010).** Theobroma cacao L ., the Food of the Gods : A scientific approach beyond myths and claims. *Pharmacological Research*, 61, 5–13. <http://doi.org/10.1016/j.phrs.2009.08.008>

**SALAZAR, J. A. H., & PÉREZ, J. H. (1998).** Determinación de componentemadera de cinco especies de encino del estado de Puebla, 4(124), 79–93.

**SAVAL, S. (2012).** Aprovechamiento de Residuos Agroindustriales : Pasado , Presente y Futuro. *Biotecnología*, 16(2), 14–46.

**SEONG, K., HUSSEINSYAH, S., & OSMAN, H. (2013).** Modified Cocoa Pod Husk-Filled Polypropylene Composites by Using Methacrylic Acid. *BioResources Journal*, 8(3), 3260–3275.

**SERRATO MONROY, C. C., & LESMES CEPEDA, V. (2016).** METODOLOGÍA PARA EL CÁLCULO DE ENERGÍA EXTRAÍDA A PARTIR DE LA BIOMASA EN EL DEPARTAMENTO DE CUNDINAMARCA. Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Retrieved from

[http://repository.udistrital.edu.co/bitstream/11349/3687/1/Documento final Metodología Potencial Energético Biomasa.pdf](http://repository.udistrital.edu.co/bitstream/11349/3687/1/Documento%20final%20Metodología%20Potencial%20Energético%20Biomasa.pdf)

**SHAKHES, J., MARANDI, M., & ZEINALY, F. (2011).** Tobacco residuals as promising lignocellulosic materials for pulp and paper industry. *BioResources Journal*, 6, 4481–4493.

**TABLEMAC. (2016).** Catálogo de productos. Medellín. Retrieved from <http://www.tablemac.com/productos/>

**TAPIA BASTIDAS, C. V. (2007).** Elaboración de Tableros de Partícula Fina a partir de Residuos Lignocelulósicos y Resinas Termoestables. Escuela Politecnica del Litoral.

**UNE. (1971).** Determinación de la resistencia a la flexión y módulo de elasticidad CDU 674. Normas Españolas Para Tableros de Partículas. Retrieved from [http://infomadera.net/uploads/articulos/archivo\\_456\\_16355.pdf](http://infomadera.net/uploads/articulos/archivo_456_16355.pdf)

**VÁZQUEZ, D., & VÁZQUEZ, M. (2002).** Transformación de materiales lignocelulosicos. composición, fraccionamiento y aprovechamiento. *Revista de Agroquímica Y Tecnología de Alimentos*, 2, 143.

**YEPES, S. M., NARANJO, L. J. M., & SÁNCHEZ, F. O. (2008).** VALORIZACIÓN DE RESIDUOS AGROINDUSTRIALES – FRUTAS – EN MEDELLÍN Y EL SUR DEL VALLE DEL ABURRÁ, COLOMBIA. *RFNA*, 61(1), 4422–4431.

**ZAMBRANO, L., MORENO, P., MUÑOZ, F., & DURÁN, J. (2013).** Tableros de partículas fabricados con residuos industriales de madera de *Pinus patula* Particle boards manufactured from industrial residues of *Pinus patula* wood. *Maderas Y Bosques*, 19(3), 65–80.

## 2.2.15 Evaluación comparativa de concreto con agregado natural y concreto a partir de agregado reciclado de prefabricados de concreto, bajo un análisis de ciclo de vida.

**Eduardo Enrique Fonseca Medina.** Ingeniero civil de la Universidad del Magdalena (Col.) y candidato a magister en construcción de la Universidad Nacional de Colombia. edefonsecame@unal.edu.co

**Paulo Andrés Romero Larrahondo.**

Diseñador industrial, PhD, Profesor asociado de la Universidad Nacional de Colombia. paromerol@unal.edu.co

Aplicación de materiales recuperados a partir del reciclaje.

Tipo de presentación: Oral.

**Palabras claves:** Análisis de Ciclo de Vida, Concreto, Reciclaje

### INTRODUCCIÓN.

Este trabajo aborda el problema de la afectación al medio ambiente generada por algunos residuos de construcción y la explotación de recursos no renovables, mediante la investigación del uso de agregados reciclados para el diseño de piezas de prefabricados de concreto, asumiendo procesos de ecodiseño para tal fin, como insumo en nuevas mezclas de concreto, y determinando si esto representa una disminución de los indicadores de impacto desde un Análisis de Ciclo de Vida o ACV, si se le compara con un concreto convencional de Agregados Naturales (AN). El estudio es desarrollado para el caso particular de una empresa de prefabricados de la ciudad de Bogotá D.C., Colombia.

La investigación pretende encontrar, a partir de un análisis cuantitativo basado en la cuasi experimentación, las condiciones y factores que harían posible el uso de un concreto ambientalmente menos nocivo como aporte a procesos de ecodiseño de piezas prefabricadas de concreto, partiendo de las condiciones propias de una manufactura de prefabricados de concreto, donde se presentan condiciones controladas de calidad de los productos e insumos, y se mantienen estándares que permiten mantener bajo parámetros definidos todos los procesos, lo cual difiere de las condiciones que generalmente se presentan en el campo de la construcción en Colombia.

Se escogió este tipo de Agregados Reciclados (AR), porque su producción, calidad de los materiales y facilidad de separación en la fuente, representan grandes ventajas para el aprovechamiento en el reciclaje, y características superiores en los agregados a ser reaprovechados, lo que se traduce en mezclas de mejores prestaciones mecánicas [1][2].

Teniendo lo anterior, es fácil pensar que a partir de la aplicación del ecodiseño es posible proponer un producto que guardando ciertos parámetros funcionales, permita ventajas ambientales sobre los que genera actualmente la empresa y que pueda llegar a reflejarse en una ventaja comercial y económica frente a los procesos actuales de la compañía, considerando este aspecto como un aporte complementario de esta investigación.

Los resultados de esta investigación podrían llegar a ser anticipados, mostrando una menor afectación al ambiente y teniendo en cuenta la reducción en el uso de materias primas, pero otras investigaciones en países como Suiza y Serbia, han arrojado que hay aumentos significativos en los indicadores de impacto relacionados al transporte de los agregados y el uso de mayores cantidades

de cemento para compensar las deficiencias en las propiedades de los AR, haciendo más nocivo el aprovechamiento de los AR [3][4], por tanto aún existen aspectos por descubrir.

### **JUSTIFICACIÓN.**

A pesar de que podría considerarse obvia la importancia de un estudio que permitiría el aprovechamiento de los desechos de concreto y una reducción de los residuos de demolición y construcción, es importante mencionar la relevancia que tiene la investigación en el campo ambiental, asociado a la sostenibilidad y la innovación, desde procesos de ecodiseño. Esto teniendo en cuenta que estos desechos representan un problema para la administración de una ciudad del tamaño y nivel de complejidad de Bogotá D.C., que solo en el año 2016 se dispusieron 2.950.876 toneladas de RDC (Residuos de Demolición y Construcción) provenientes de mega obras y obras superiores a 5000 m<sup>2</sup>[5]

La contaminación asociada a la labor constructiva abarca aspectos que van desde la explotación desmedida de recursos no renovables, pasando por afectaciones al aire, al agua y a la salud humana, hasta llegar al deterioro de la capa de ozono y aumento del calentamiento global, por lo cual las medidas que las empresas puedan aplicar mediante procesos claros, encaminados a la mitigación de los impactos que estas actividades generan, juegan un papel importante en la calidad de vida de las generaciones futuras, razón por la cual repensar los procesos y materiales que usamos actualmente, en este caso el concreto, para que permitan un mejor aprovechamiento de los recursos naturales y la reducción de emisiones y residuos al medio ambiente.

### **HIPÓTESIS.**

Los agregados gruesos reciclados de este estudio, obtenidos a partir de la trituración de piezas de concreto prefabricado, producen un menor impacto ambiental negativo al ser utilizados en nuevas mezclas de concreto, en comparación a los generados por mezclas con agregados naturales, manteniendo una Unidad Funcional (UF) de metro cúbico de resistencia igual a 280 kgf/cm<sup>2</sup>.

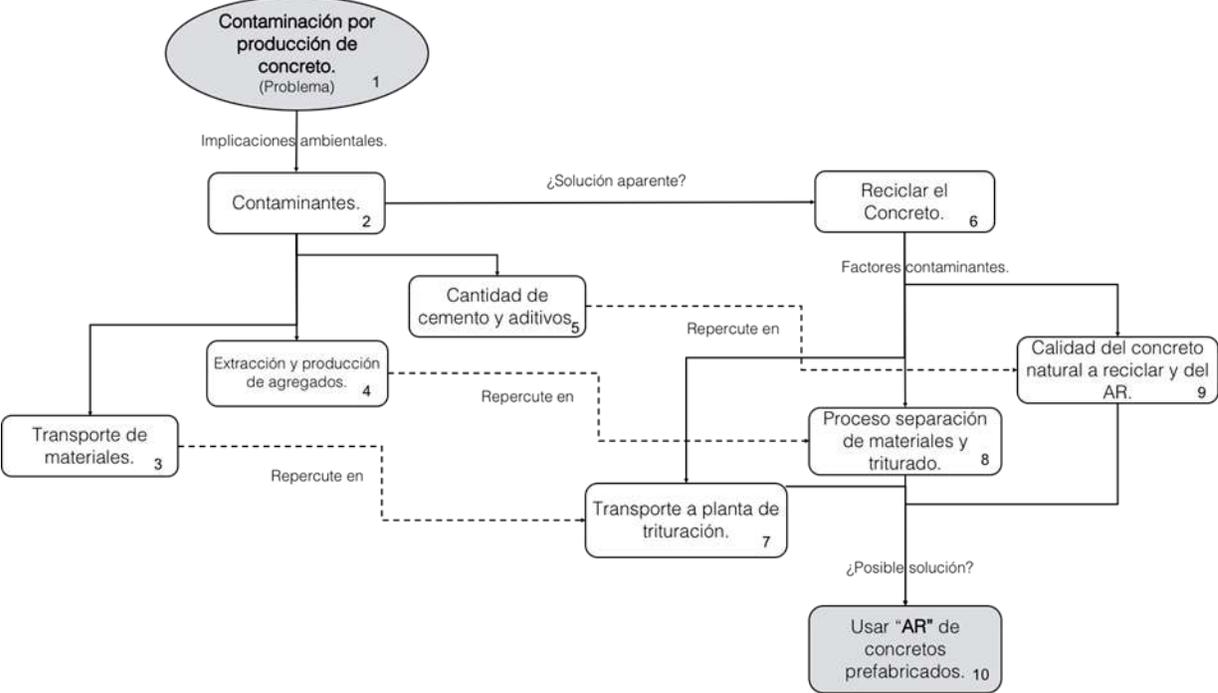
### **CONCEPTUALIZACIÓN DEL ESTUDIO.**

Para tener un planteamiento general de las bases teóricas y resultados encontrados en otras investigaciones que dan soporte a este trabajo, se desarrolló un esquema lógico donde se abordaron transversalmente el planteamiento del problema, la justificación y el alcance de los objetivos que pretendía la investigación.

Cada uno de los conceptos que se relacionan en el esquema de la **Figura 1 Mapa conceptual del estudio**, están soportados por los autores de la **Tabla 8 Aportes de investigadores al estudio.**, quienes con sus estudios sirvieron de base para determinar los pasos a seguir en el desarrollo del trabajo, el cómo este podría llegar a ser una respuesta válida para la problemática implícita en el uso de estos agregados en el concreto y por qué los AR jugarían un papel importante en esta solución a través de una estrategia basada en el ecodiseño.

En algunos casos, estos conceptos ya daban un indicio de los resultados a obtener en la etapa de experimentación, lo cual fue de gran valor teórico, ya que sirvieron para ser corroborados con los efectivamente obtenidos y robustecer la discusión.

Figura 1 Mapa conceptual del estudio



**Tabla 8 Aportes de investigadores al estudio.**

Número en mapa	Autores
1	Pacheco-Torgal & Jalali (2012).[6]
2	Pacheco-Torgal & Jalali (2012).[6]
3	Hossain et al. (2016); López Gayarre (2016).[8][9]
4	GEAR (2011); Matthey (2014); Serres et al. (2015) [2], [10], [11]
5	Marinković et al. (2010).[4]
6	Hossain (2016); López Gayarre. (2016).[8], [9]
7	Arriaga et al. (2013); Matthey (2014); Pedro (2015); Sánchez (2004).[12]–[15]
8	Pedro (2015).[14]
9	Arriaga (2013); Pedro (2015) Lotfy & Al-Fayez (2015) [13], [14], [16]
10	Pedro (2015).[14]

Este esquema explica la relación existente entre cada uno de los aspectos contaminantes del concreto en general y cómo se han manejado los inconvenientes del uso de los AR en mezclas de concreto desde cada uno de los estudios relacionados, mostrando en una secuencia lógica cómo los agregados a partir de reciclado de piezas prefabricadas de concreto pueden ser la respuesta a los problemas de transporte, separación en la fuente y la calidad de los agregados a usar en la mezcla.

#### **METODOLOGÍA EMPLEADA.**

La investigación propuesta se desarrolló a partir de un enfoque cuantitativo y basado en la cuasi-experimentación, donde se identificaron las variables independientes para luego ser manipuladas, observando su impacto en el resultado de las pruebas y medir su impacto en las variables dependientes.

Las variables independientes fueron: cantidad de cemento, cantidad de agregados, porción de agregado reciclado en la mezcla, método de curado y tratamiento de la absorción en los agregados. Como variables dependientes tenemos: resistencia del concreto, impactos ambientales.

Para el establecimiento de Unidades Funcionales (UF) que constituyan una medida de comparación entre los dos tipos de concreto algunos autores proponen algunos aspectos claves en las propiedades que son equivalentes entre los Concretos con Agregados Reciclados CAR y los Concretos con Agregados Naturales CAN [17], En dicha investigación se enuncian importantes parámetros para determinar la Unidad Funcional (UF) entre los concretos y se hace mención a otras investigaciones [4] reconociendo como una falencia el establecer como unidad funcional el volumen, 1 m<sup>3</sup> de CAR versus 1 m<sup>3</sup> de CAN, porque no se consideran las propiedades intrínsecas de los materiales para alcanzar un determinado desempeño estructural. Esto fue encontrado en varios trabajos de pesquisa [8], [10], [18], donde sólo tienen en cuenta el peso como UF.

Lo anterior muestra la importancia de establecer una UF ajustada a las propiedades deseables en el producto final por lo que para la presente investigación, se estableció la medida de un metro cúbico (1.0 m<sup>3</sup>) de concreto, pero estableciendo como parámetro de resistencia a la compresión de 280 kgf/cm<sup>2</sup>, la cual permitiría hacer una equivalencia en uso y cantidad para las mezclas y sus materiales.

Con el fin de encontrar un tipo mezcla que fuese eficiente en cuanto al uso del cemento y generación de resistencia mecánica, basados en los estudios que daban nociones sobre el manejo del agua de mezclado y el tipo de curado de las mezclas, se produjeron mezclas con dos tipos manejo de la absorción de los agregados grueso y dos tipos de curado. Por un lado, para contrarrestar la absorción se hizo presaturación de los agregados y luego un secado superficial para que estos no tomaran el

agua de amasado del cemento, y por otro lado, se calculó la absorción de los agregados al momento de la mezcla para compensarlo en la cantidad de agua en la mezcla, supliendo el agua que tomaría la piedra directamente de la mezcla, buscando en ambos casos que no se afectara la relación agua/cemento establecida. Finalmente, el curado se manejó por medio de sumergimiento de las probetas en agua a temperatura ambiente y envueltos en plástico vinipel, ambos durante 28 días.

Para observar cómo incidía la cantidad de agregado en la mezcla, se generaron distintos tipos variando las proporciones de AR, sin usar aditivos o adiciones, y utilizando la misma cantidad de cemento todos los concretos. Para esto se realizaron mezclas con variaciones progresivas de sustitución de agregado natural grueso por agregado reciclado grueso, siendo estas del 0%, 25%, 50%, 75% y 100%. La mezcla del 0% fue la mezcla de control, denominada CAN: Concreto con Agregados Naturales. A estas proporciones se les aplicaron los métodos de curado y manejo de absorción comentados anteriormente con el fin de establecer si esto redundaría en mejores resultados para la resistencia a compresión, generando la **Tabla 9 Matriz de ensayos realizados**, constituida por cilindros de 10 x 20 mm.

**Tabla 9 Matriz de ensayos realizados**

Código	Concreto	% AR	Manejo agua mezclado	Curado	Compresión NTC 673
					Cilindros
CAN-CS	Natural	0%	Compensado	Sumergido	3
CAN-CE	Natural	0%	Compensado	Envuelto	3
CAN-PS	Natural	0%	Presaturado	Sumergido	3
CAN-PE	Natural	0%	Presaturado	Envuelto	3
25-CS	Reciclado	25%	Compensado	Sumergido	3
25-CE	Reciclado	25%	Compensado	Envuelto	3
25-PS	Reciclado	25%	Presaturado	Sumergido	3
25-PE	Reciclado	25%	Presaturado	Envuelto	3
50-CS	Reciclado	50%	Compensado	Sumergido	3
50-CE	Reciclado	50%	Compensado	Envuelto	3
50-PS	Reciclado	50%	Presaturado	Sumergido	3
50-PE	Reciclado	50%	Presaturado	Envuelto	3
75-CS	Reciclado	75%	Compensado	Sumergido	3
75-CE	Reciclado	75%	Compensado	Envuelto	3
75-PS	Reciclado	75%	Presaturado	Sumergido	3
75-PE	Reciclado	75%	Presaturado	Envuelto	3
100-CS	Reciclado	100%	Compensado	Sumergido	3
100-CE	Reciclado	100%	Compensado	Envuelto	3
100-PS	Reciclado	100%	Presaturado	Sumergido	3
100-PE	Reciclado	100%	Presaturado	Envuelto	3
<b>TOTAL</b>					<b>60</b>

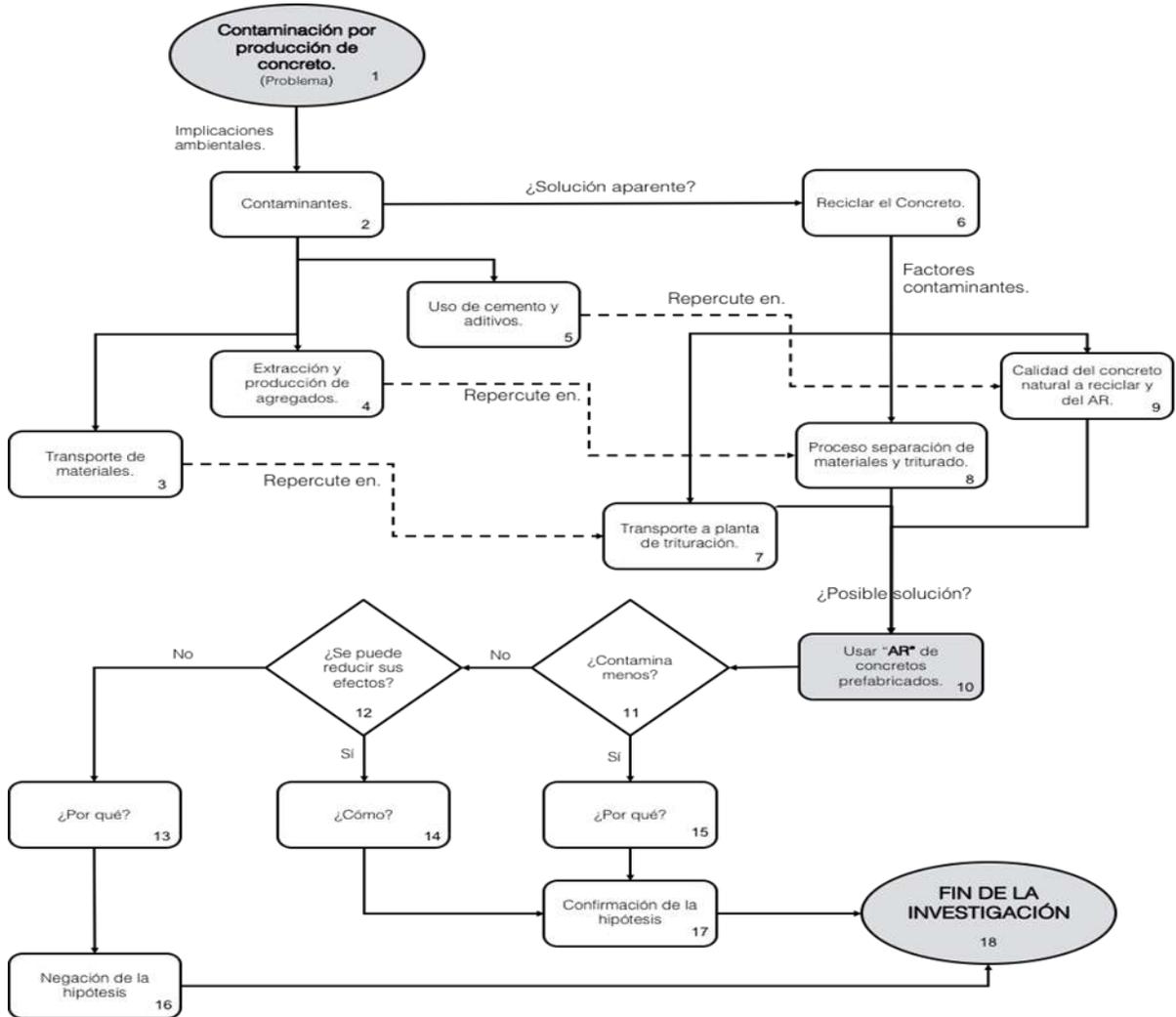
Luego de realizadas las mezclas y curado de las probetas, se hicieron las pruebas de compresión cilindros bajo la estandarización colombiana [19], observando los resultados de resistencia en cada una de las porciones de reemplazo, manejo del agua de mezclado y curado. Estas pruebas permitieron establecer cuáles tenían un comportamiento satisfactorio en cuanto al cumplimiento de la UF, y arrojó la posibilidad de trabajar con una mezcla con una menor cantidad de cemento, con una reducción del 16%, que cumplía dicha unidad funcional y que representaría claras ventajas en el inventario de impactos. Al momento de diseñar la mezcla con menor cantidad de cemento, ya se había identificado cuáles eran los mejores procedimientos entre presaturado/compensado y envuelto/sumergido, por lo que se usó la combinación presaturado – sumergido.

Las mezclas con mejor comportamiento, la de 100% de reemplazo y la que contenía un 16% menos de cemento, junto con la mezcla de control, fueron sometidas a un Análisis de Ciclo de Vida (ACV), donde se identificaron las ventajas ambientales que tendrían unas mezclas sobre otras, llevando a las conclusiones y discusión del estudio.

En términos generales, la metodología del estudio consistió en una secuencia de pruebas lógicas donde se iteraban los resultados generados por las variaciones en el diseño de las mezclas, buscando una condición más favorable para el medio ambiente, donde al final se pudiera dar una respuesta concreta a la hipótesis planteada.

Lo anterior se representa gráficamente mediante la continuación del mapa conceptual del estudio, añadiendo una secuencia de pruebas lógicas.

Figura 2 Mapa conceptual y metodológico del estudio



## RESULTADOS OBTENIDOS.

Después de realizar los ensayos de compresión a todas las mezclas propuestas, se obtuvieron los resultados de los mismos, representados en la **Tabla 10 Resultados de ensayos de compresión**. Estos ensayos arrojaron que la mezcla de concreto con agregado reciclado con 100% de reemplazo, agregado presaturado y curado sumergido 100-PS, resistió 331 kgf/cm<sup>2</sup>, superando la UF en 51 kgf/cm<sup>2</sup>. Por tal razón, en una etapa posterior se decidió reducir la cantidad de cemento en la mezcla para llegar al valor de 280 kgf/cm<sup>2</sup>, con 16% menos de cemento, llamándola CAR-PS (-16) e igualmente representada en la **Tabla 10 Resultados de ensayos de compresión**.

**Tabla 10 Resultados de ensayos de compresión**

Código	Concreto	% AR	Manejo agua mezclada	Curado	Resistencia f'c (kgf/cm <sup>2</sup> )
CAN-CS	Natural	0%	Compensado	Sumergido	266.49
CAN-CE	Natural	0%	Compensado	Envuelto	273.53
CAN-PS	Natural	0%	Presaturado	Sumergido	283.34
CAN-PE	Natural	0%	Presaturado	Envuelto	291.84
25-CS	Reciclado	25%	Compensado	Sumergido	244.50
25-CE	Reciclado	25%	Compensado	Envuelto	229.59
25-PS	Reciclado	25%	Presaturado	Sumergido	259.92
25-PE	Reciclado	25%	Presaturado	Envuelto	254.86
50-CS	Reciclado	50%	Compensado	Sumergido	245.58
50-CE	Reciclado	50%	Compensado	Envuelto	220.51
50-PS	Reciclado	50%	Presaturado	Sumergido	286.55
50-PE	Reciclado	50%	Presaturado	Envuelto	262.17
75-CS	Reciclado	75%	Compensado	Sumergido	269.28
75-CE	Reciclado	75%	Compensado	Envuelto	223.41
75-PS	Reciclado	75%	Presaturado	Sumergido	299.24
75-PE	Reciclado	75%	Presaturado	Envuelto	281.37
100-CS	Reciclado	100%	Compensado	Sumergido	347.09
100-CE	Reciclado	100%	Compensado	Envuelto	354.57
100-PS	Reciclado	100%	Presaturado	Sumergido	331.37
100-PE	Reciclado	100%	Presaturado	Envuelto	272.88
100-PS (-16%)	Reciclado con 16% menos de cemento	100%	Presaturado	Sumergido	271.26

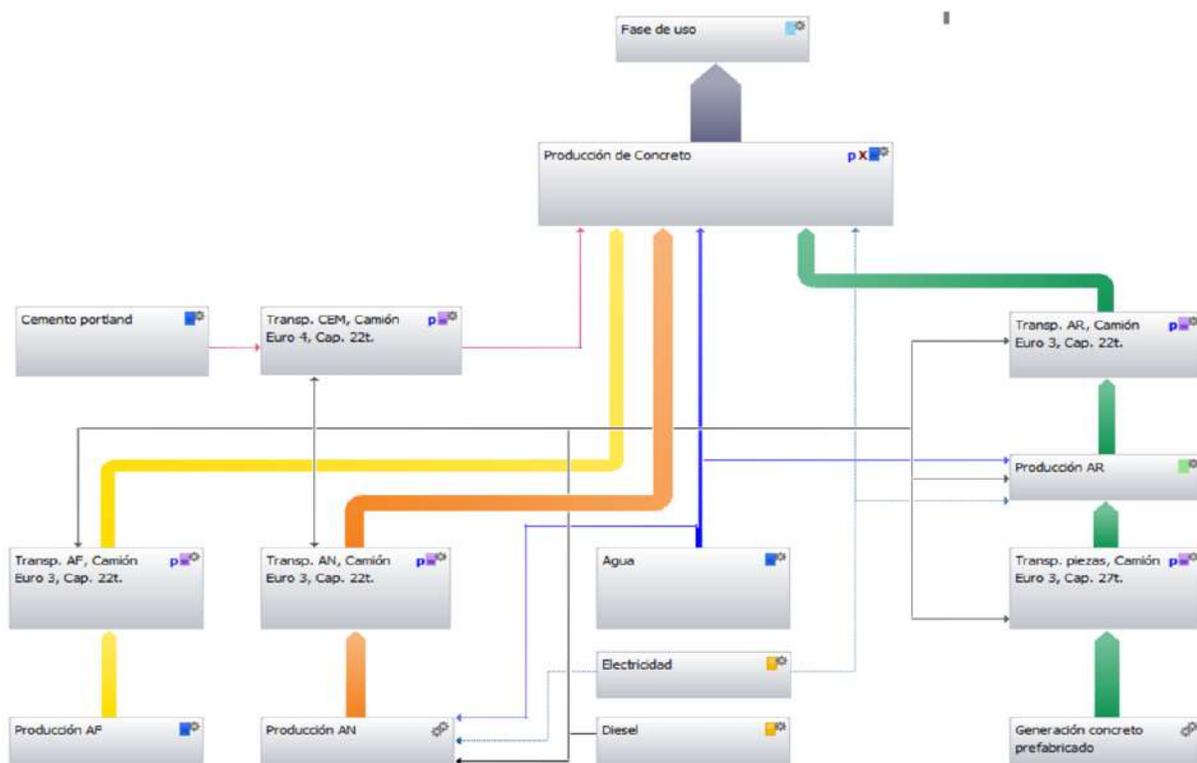
Una vez terminada la fase de laboratorios, se realizó el ACV bajo los parámetros de la ISO 14040 y 14044, para las tres mezclas, CAN-PS, 100-PS y 100-PS (-16), obteniendo los resultados de la **Tabla 11 Resultados del ACV para mezclas de concreto**.

**Tabla 11 Resultados del ACV para mezclas de concreto.**

Tipo de concreto	Calentamiento global (Kg. Eq CO2)	Acidificación (Kg. Eq SO2)	Eutrofización (Kg. Eq NO3)	Formación de oxidantes fotoquímicos (Kg. Eq C2H4)	Consumo de materias primas (t)
CAN-PS	355.56	0.92	0.11	0.05	2264.21
CAR-PS	351.47	0.90	0.10	0.06	1348.95
CAR-PS (-16%)	296.08	0.76	0.09	0.05	1348.95

Estos resultados se obtuvieron a través de la elaboración de un diagrama Sankey para los procesos de la elaboración de las mezclas, con la ayuda del programa Gabi Life Cycle Engineering Suite, versión 6, de la empresa Thinkstep, el cual puede observarse en la **Figura 3 Diagrama Sankey de producción de CAR y CAN.**

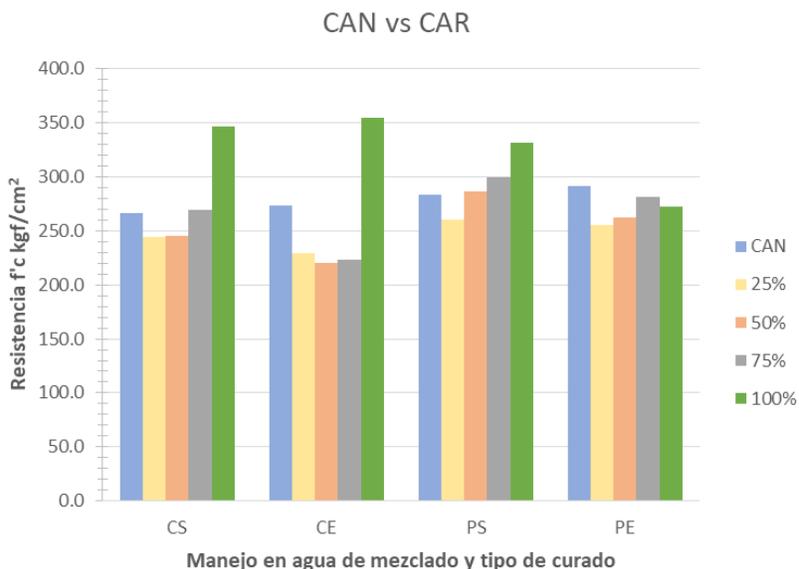
**Figura 3 Diagrama Sankey de producción de CAR y CAN.**



### DISCUSIÓN DE RESULTADOS.

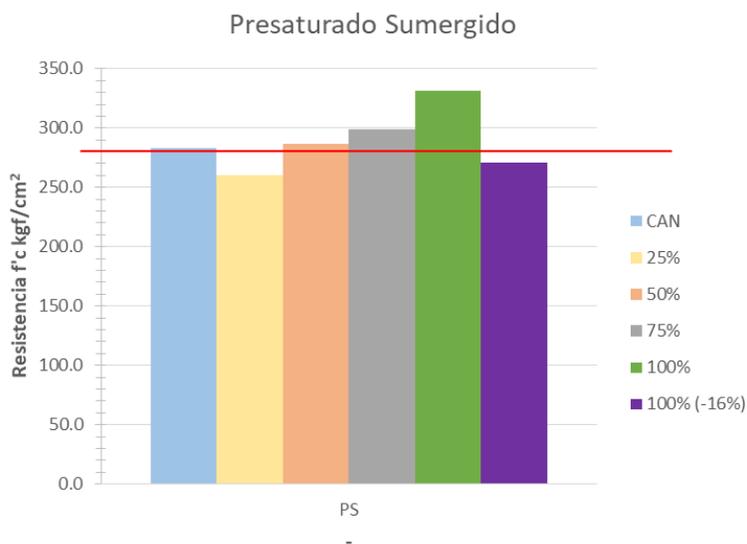
Como puede verse, en la **Figura 4 Resultados de resistencia a la compresión por tipo de concreto.**, los Concretos Presaturados – sumergidos PS, presentaron una mejor línea de tendencia o más congruente en cuanto a resistencia y la proporción de agregados, por lo que se usó este tipo de concreto para limitar el estudio y diseñar un tipo de mezcla encaminada a la solución de la hipótesis

**Figura 4 Resultados de resistencia a la compresión por tipo de concreto.**



Como puede verse en la **Figura 5 Resultados de resistencia a compresión para concreto presaturado - sumergido**, si bien la mezcla 100-PS (-16) presentó una resistencia de 271 MPa, la cual está por debajo de la UF establecida (280 MPa.), el valor puede tomarse como aceptable, ya que la diferencia es del 3.2%, pudiendo ser corregido con una eventual ampliación de la cantidad de cilindros testeados.

**Figura 5 Resultados de resistencia a compresión para concreto presaturado - sumergido**



A diferencia de los resultados obtenidos en otras investigaciones [3], [4], este trabajo mostró una notoria favorabilidad para las categorías de impacto ambiental del ACV, en el uso de los agregados reciclados a partir prefabricados de concreto, para el diseño de nuevas mezclas para 280 kgf/cm<sup>2</sup>.

Esto debido en parte, a la calidad superior de los AR frente a los AN usados en esta pesquisa y a las cortas distancias de transporte de los mismos, por encontrarse dentro de la misma planta.

## CONCLUSIONES.

Se concluye que sí es favorable, ambientalmente hablando, el uso de AR en nuevas mezclas de concreto para las condiciones del estudio, confirmando la hipótesis. Por tal motivo, la identificación de factores que inciden en el aumento de los indicadores de impacto y las ventajas que se tienen en los procesos, pueden generar, como se observó en este trabajo, un ejercicio iterativo que conlleve a una producción más limpia y que considere un modelo más cíclico, tomando como herramienta fundamental el ACV.

Por otra parte, el componente de ACV en procesos de ecodiseño plantea retos tanto técnicos como de ventaja competitiva, pues claramente se aprecia que sustentar ambientalmente, en este caso un concreto con agregado reciclado, demanda tanto apoyo de análisis de laboratorio como uso de software especializado así como de personal altamente capacitado técnica y ambientalmente para que se permita dar seguridad y tranquilidad en la toma de decisiones, en el marco de un proceso de ecodiseño, sustentado en un ACV. Lo cual deberá igualmente reportar una relación costo-beneficio favorable.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

- [1] W. H. Kwan, M. Ramli, K. J. Kam, and M. Z. Sulieman, "Influence of the amount of recycled coarse aggregate in concrete design and durability properties," *Constr. Build. Mater.*, vol. 26, no. 1, pp. 565–573, 2012.
- [2] P. Matthey, R. Robayo, Y. Silva, N. Alvarez, and S. Arjona, "Caracterización física y mecánica de agregados reciclados obtenidos a partir de escombros de la construcción," pp. 121–127, 2014.
- [3] C. Knoeri, E. Sanyé-Mengual, and H.-J. Althaus, "Comparative LCA of recycled and conventional concrete for structural applications," *Int. J. Life Cycle Assess.*, vol. 18, no. 5, pp. 909–918, 2013.
- [4] S. Marinković, V. Radonjanin, M. Malešev, and I. Ignjatović, "Comparative environmental assessment of natural and recycled aggregate concrete," *Waste Manag.*, vol. 30, no. 11, pp. 2255–2264, 2010.
- [5] Observatorio Ambiental de Bogotá, "Escombros generados por obras de construcción en Bogotá Gestionados - PEGOC," 2017. [Online]. Available: <http://oab2.ambientebogota.gov.co/es/indicadores?&id=780&v=1>. [Accessed: 17-Apr-2017].
- [6] F. Pacheco-Torgal and S. Jalali, "Earth construction: Lessons from the past for future eco-efficient construction," *Constr. Build. Mater.*, vol. 29, pp. 512–519, 2012.
- [7] F. López, J. González, C. López-Colina, M. Serrano, and A. López, "Life cycle assessment for concrete kerbs manufactured with recycled aggregates," *J. Clean. Prod.*, vol. 113, pp. 41–53, 2016.
- [8] M. U. Hossain, C. S. Poon, I. M. C. Lo, and J. C. P. Cheng, "Comparative environmental evaluation of aggregate production from recycled waste materials and virgin sources by LCA," *Resour. Conserv. Recycl.*, vol. 109, pp. 67–77, 2016.
- [9] F. López Gayarre, J. González Pérez, C. López-Colina Pérez, M. Serrano López, and A. López Martínez, "Life cycle assessment for concrete kerbs manufactured with recycled aggregates," *J. Clean. Prod.*, 2016.
- [10] N. Serres, S. Braymand, and F. Feugeas, "Environmental evaluation of concrete made from recycled concrete aggregate implementing life cycle assessment," *J.*

- Build. Eng.*, vol. 5, pp. 24–33, 2015.
- [11] GEAR, *Guía Española de Áridos Reciclados Procedentes de Residuos de Construcción y Demolición (RDC)*. Asociación Española de Gestores de Residuos de Construcción y Demolición., 2011.
- [12] S. A. Pedro Mattey, Rafael Robayo, Yimmy Silva, Norman Alvarez, “Caracterización física y mecánica de agregados reciclados obtenidos a partir de escombros de la construcción,” pp. 121–127, 2014.
- [13] L. Arriaga, N. Torres, and P. N. Quiroga, “Utilización de agregado grueso de concreto reciclado en elementos estructurales de concreto reforzado,” Escuela Colombiana de Ingeniería, 2013.
- [14] D. Pedro, J. de Brito, and L. Evangelista, “Performance of concrete made with aggregates recycled from precasting industry waste: influence of the crushing process,” *Mater. Struct.*, vol. 48, no. 12, pp. 3965–3978, 2015.
- [15] M. Sánchez de Juan, “Estudio sobre la utilización de árido reciclado para la fabricación de hormigón estructural,” Universidad Politécnica de Madrid, 2004.
- [16] A. Lotfy and M. Al-Fayez, “Performance evaluation of structural concrete using controlled quality coarse and fine recycled concrete aggregate,” *Cem. Concr. Compos.*, vol. 61, pp. 36–43, 2015.
- [17] G. Dobbelaere, J. De Brito, and L. Evangelista, “Definition of an equivalent functional unit for structural concrete incorporating recycled aggregates,” *Eng. Struct.*, vol. 122, pp. 196–208, 2016.
- [18] B. Estanqueiro, J. Dinis Silvestre, J. de Brito, and M. Duarte Pinheiro, “Environmental life cycle assessment of coarse natural and recycled aggregates for concrete,” *Eur. J. Environ. Civ. Eng.*, vol. 22, no. 4, pp. 429–449, 2016.
- [19] ICONTEC and ASTM C39:2005, “NORMA TÉCNICA NTC COLOMBIANA 673 CONCRETOS. ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE ESPECIMENES CILÍNDRICOS DE CONCRETO,” 2010.

## **2.3 POLITICAS PÚBLICAS PARA EL ECODISEÑO**

### 2.3.1 Evaluación del impacto ambiental potencial generado en la producción de carne de pollo mediante la metodología de análisis ciclo de vida “ACV” por atributos de la puerta a la puerta.

#### Omar Alberto Ávila Rojas <sup>(1)</sup>

Ingeniero Químico y Master en Ingeniería Ambiental de la Universidad Industrial de Santander, Docente Ocasional Tiempo Completo del Instituto Universitario de la Paz -UNIPAZ – Escuela de Ingeniería Ambiental y de Saneamiento. Barrancabermeja. Grupo de Investigación de Ingeniería Ambiental y de Saneamiento “GIAS”. Universidad Santo Tomas, Bucaramanga.

#### Sandra Jeaneth Suárez Vera

Ingeniera Metalúrgica. Magister en Ciencias y Tecnologías Ambientales. Docente Cátedra del Instituto Universitario de la Paz – UNIPAZ – Escuela de Ciencias. Barrancabermeja, Santander.

**Dirección:** Calle 54 # 1 w 31. Barrio Balcón Real. Bucaramanga. Santander. Código Postal: 680005  
País: Colombia. Tel.: (+57) 318 532 15 32.

**E-mail:** [omar.avila@unipaz.edu.co](mailto:omar.avila@unipaz.edu.co)

#### RESUMEN

La metodología del Análisis del ciclo de vida (ACV) según la tipología por atributos, fue implementado al proceso general de aves de corral (granja de gallinas ponedoras, incubación de huevos, granja de reproducción de pollitos, planta de beneficio y de almacenamiento, transporte de huevos fértiles y carne de pollo). El objetivo del análisis de ACV fue identificar, clasificar y evaluar los posibles impactos ambientales (PEI) generados en el ciclo de vida de la carne de pollo en Santander, Colombia. La construcción del inventario se realizó con datos de la industria avícola para el año 2018, tales como: consumo de productos químicos, recursos naturales, combustible y generación de residuos líquidos y atmosféricos; como de literatura (emisiones asociadas a la generación de estiércol de pollo, consumo de energía eléctrica y combustible fósil). El alcance de la ACV incluyó la evaluación de los PEI de puerta a puerta y los impactos asociados con el consumo de materias primas tales como: agua, electricidad, gas natural, insumos químicos (aditivos, coagulantes, desinfectantes, etc.) y la disposición final de residuos (líquidos, sólidos y gaseosos). La metodología ACV tomó como referencia las Normas NTC-ISO 14040 y NTC-ISO 14044, que establecen los criterios para la identificación y creación del inventario ambiental, el análisis e interpretación de resultados, evaluados con el Software SimaPro 7.1, método de evaluación EDIP 2003. La unidad funcional de producción fue 1 tonelada de carne de pollo. El consumo del flujo de masa y energía se cuantificó con una base de cálculo de 1 hora (masa en toneladas, energía en MJ). Los procesos que más contribuyeron a la generación de PEI fueron: en un 50,84% la granja de reproducción asociadas al consumo de energía e insumos químicos, seguido de la planta de incubación (27,16%), del área de almacenamiento y distribución (10,63%), planta de beneficio (8,93%), la granja de engorde (1,71%) y finalmente el transporte en 0,73%. Posteriormente, se realizó un análisis basado en una modificación del proceso global, que consistió en suprimir el subproceso de vivienda de la granja de reproducción que aportó una contribución ambiental del 47,1% (88% del 53,4%), atribuida al máximo consumo de energía obtenido por la planta de beneficio en un 39,5% y la contribución del tratamiento de aguas residuales en un 20%. De lo anterior, se infirió la importancia del uso y control de energías alternativas, el cambio de agentes químicos para el tratamiento de aguas residuales, entre otros.

**Palabras claves:** Análisis del ciclo de vida, impacto ambiental potencial, pollo, categorías de impacto, gases de invernadero.

#### INTRODUCCIÓN

El sector de la alimentación es uno de los sectores económicos más importantes a nivel mundial; para satisfacer la demanda de la sociedad, se ha incrementado su producción; en paralelo, el impacto ambiental, que asociado a este sector también ha experimentado un interés creciente. Las etapas del ciclo de vida de productos alimenticios tales como: producción, preservación y distribución, requieren grandes cantidades de energía, lo cual se traduciría en impactos ambientales negativos como son los gases de efecto invernadero (GEI) y las emisiones acidificantes. Paralelamente, los consumidores en los países desarrollados han comenzado a exigir alimentos de alta calidad, producidos en condiciones favorables para el medio ambiente. En este contexto, hay un mayor reconocimiento y aceptación de la necesidad de desarrollar sistemas más sostenibles dentro el sector alimentario. Uno de los métodos internacionales más ampliamente aceptados para cuantificar los impactos ambientales de los productos alimenticios es la metodología de análisis de ciclo de vida (ACV); herramienta holística que permite la identificación de las consecuencias ambientales del ciclo de vida de un producto, como de la evaluación de los impactos ambientales potenciales asociados durante su cadena de producción (ISO 14040, 2006).

Los procesos que conforman la industria avícola tales como: la granja de producción, la planta de incubación, la granja de engorde, la planta de beneficio y la distribución; generan residuos sólidos, líquidos y emisiones atmosféricas asociados al consumo de recursos naturales como agua, energía eléctrica y térmica, como también, el consumo de insumos químicos requeridos en las diferentes etapas del proceso. La investigación demanda gran importancia e interés porque no se ha realizado estudio alguno, a nivel regional como en el entorno nacional.

A continuación, se referencian algunos estudios que validan la problemática ambiental del sector agropecuario. En países bajos, se realizaron estudios con el objeto de comparar las evaluaciones del impacto ambiental en el sector de la ganadería. El estudio expuso sus resultados de tres maneras: por kg de producto, por kg de proteína, y por kg de producto promedio. La revisión produjo un rango consistente de resultados para el uso de la tierra, consumo de energía eléctrica y la afectación directa al cambio climático (mayor impacto potencial asociado al calentamiento global (GWP)), enmarcados directamente a la producción de 1 kg de carne de res, seguido por la producción de 1 kg de carne de cerdo, de pollo, huevos y leche. Las diferencias en el impacto ambiental entre el cerdo, el pollo y la carne de vacuno pueden ser explicado principalmente por 2 factores: diferencias en la eficiencia de la alimentación y diferencias en la emisión entérica de metano (CH<sub>4</sub>) (Vries, et al. 2010).

Otro estudio fue realizado en Australia para la producción en huevos alrededor de 345 millones de docenas de huevos al año. La industria busco tener un alto grado de desempeño ambiental mediante la adopción de las mejores prácticas de gestión para una serie de cuestiones ambientales, aunque hasta la fecha no se han realizado análisis exhaustivos del desempeño ambiental en toda la cadena de suministro de huevos. Para cuantificar los impactos ambientales, el estudio contempló las emisiones de GEI, el consumo de energía y agua, enfocado a la producción de 1 kg de huevos en jaula como de gama libre. El estudio encontró que la producción de huevos de Australia generaba bajos niveles de GEI en comparación con la producción de huevos de estudios europeos (Wiedemann, et.al. 2011).

En un segundo estudio realizado por Wiedemann en la industria de carne de pollo en Australia utilizando ACV como herramienta, evaluó; el impacto medioambiental desde la "cuna hasta la tumba", basado en datos recolectados de las cadenas comerciales de carne de pollo. Los objetivos de este proyecto incluyeron: (a) Cuantificar los impactos ambientales de la producción de carne de pollo, específicamente: energía usada, GEI y uso del agua. (b) Proporcionar datos sólidos que

permitan comparar la carne de pollo con otros productos similares, sobre el rendimiento medioambiental y la eficiencia de la producción. (c) Identificar áreas dentro de la cadena de suministro donde las mejoras pueden reducir el uso de recursos e impactos ambientales. (d) Establecimiento de datos de referencia para la evaluación comparativa y presentación de informes del desempeño de la industria. (e) Revisar las ACV existentes en la carne de pollo. El estudio mostró que la producción de carne de pollo australiana generó bajos niveles de GEI y niveles moderados de energía y agua.

Adicionalmente se da a conocer la evaluación ambiental de la producción de carne de ave mediante la evaluación del ciclo de vida, realizada en la ciudad de Varamin, provincia de Teherán, Irán. El alcance del estudio contemplo los Impactos de la producción de pollos de engorde en la granja y la producción de carne de pollo en el matadero; cuya unidad funcional fue una tonelada de ave, en las temporadas de verano e invierno. Las categorías de impacto incluyeron el potencial de agotamiento abiótico, el potencial de acidificación, el potencial de eutro-potencial de calentamiento, potencial de agotamiento del ozono, potencial de toxicidad humana, potencial de ecotoxicidad acuática marina, potencial de ecotoxicidad terrestre y potencial de oxidación. Las evaluaciones revelaron que la etapa de producción de pollos fue la principal fuente de impactos ambientales, debido a la producción y transporte asociada a las emisiones atmosféricas durante el ciclo de vida de la producción de carne de pollo. (Kalhor, et al. 2016).

Finalmente, se menciona el estudio realizado en España sobre el impacto ambiental generado en el sector alimentario, mediante el Análisis de Ciclo de Vida (ACV) y la Huella de Carbono donde fue posible identificar y cuantificar dichos impactos y sus causas, usando el software SimaPro, para la explotación avícola productora de huevos frescos en la provincia de Asturias. El inventario se realizó considerando los consumos de materias primas y energéticas, emisiones directas derivadas de la actividad, así como los transportes y la gestión de los residuos. El análisis realizado indicó que la producción del alimento para las gallinas es la principal causa de impacto en esta actividad. (Castillo, 2017).

## **METODOLOGÍA**

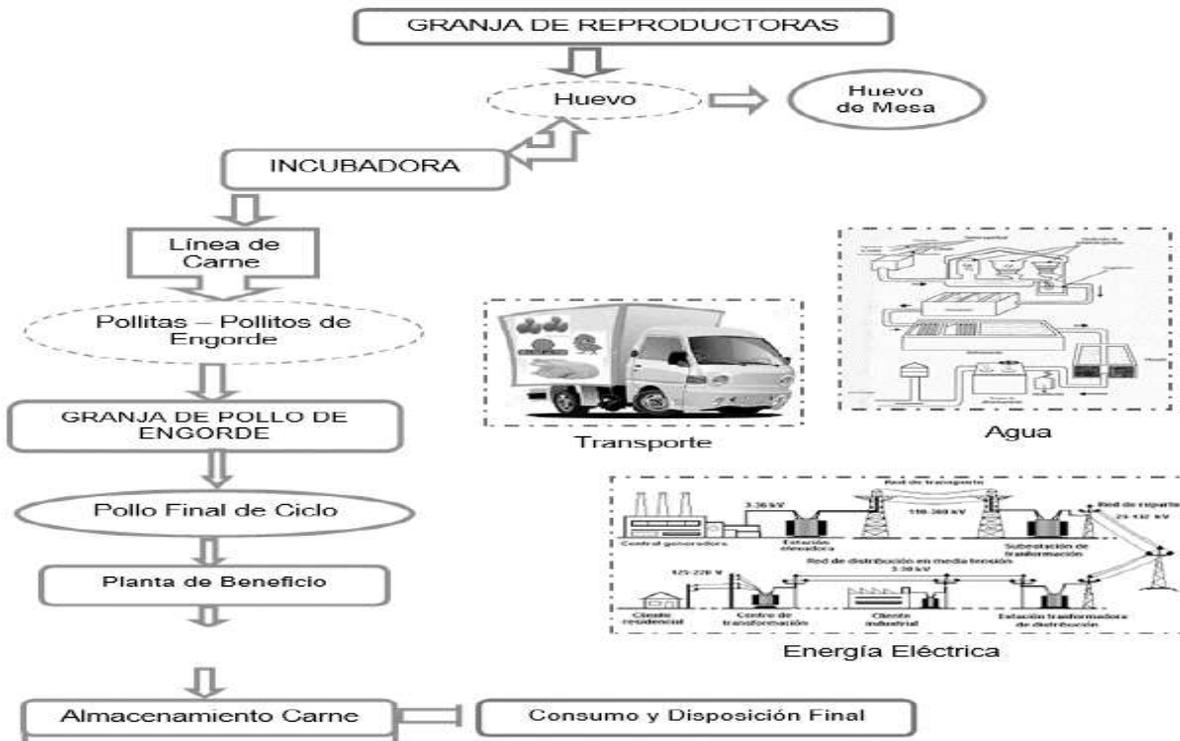
**Objetivo:** Identificar, evaluar y analizar los IAP asociados a los diferentes procesos que integran el sistema de aprovechamiento de la carne de pollo, desde la obtención del huevo, su incubación, obtención del pollo y su beneficio, para finalmente proponer alternativas de mejoramiento, a través de la aplicación de la metodología de Análisis de Ciclo de Vida “ACV”, según la tipología por atributos, con un enfoque de la puerta (huevo fértil) a la puerta (almacenamiento de carne de pollo).

**Identificación del alcance:** Se tomó como partida las operaciones unitarias que integran la obtención del huevo, para ello se intervino la granja de gallinas ponedoras, seguido del transporte del huevo fértil hacia la planta de incubación, en donde se selecciona el pollo apropiado para su respectivo engorde y crecimiento. Posteriormente se evaluó el transporte del pollito a la granja de engorde en donde permanece 42 días, tiempo apropiado para su consumo. Seguidamente, se evaluó el transporte del pollo hacia la planta de beneficio y las operaciones unitarias que intervienen en la transformación del pollo vivo a carne despresada. Finalmente se consideró el transporte de la carne de pollo a la zona de almacenamiento, distribución y comercialización (ciclo de la puerta a la puerta)

**Unidad Funcional:** La obtención de 550 huevos fértiles de los cuales fueron incubados para obtener 550 pollos requeridos para la obtención aproximada de 1 tonelada de carne de pollo.

**Límite temporal:** se consideró el análisis de datos históricos entregados por la organización durante el semestre A y parte del B del año 2017, para las diferentes plantas. La información relevante fueron los consumos de energía eléctrica y agua potable (facturas de servicios públicos), consumo de insumos y reactivos químicos (tablas de relación), generación de vertimientos (caracterización de aguas residuales). Adicionalmente, se contempló la revisión de información (tesis de pregrado y posgrado; patentes, estudios gubernamentales, etc.) concerniente a las generalidades del sector avícola, para validar información que no se recopiló en su momento (distribución energética por sectores), como en la determinación de las cargas ambientales asociadas al consumo de energía eléctrica y consumo de combustible. La información obtenida fue utilizada para la realización de balances másicos, energéticos y cargas ambientales. (Ávila, Meneses, Muñeton, & Vivas, 2014).

**Límites:** En la figura 1 se muestran los procesos unitarios objeto de estudio delimitados (obtención huevo fértil, proceso de incubación, granja de engorde, planta de beneficio y planta de almacenamiento y distribución) y sus relaciones (consumo de agua, energía eléctrica y transporte del producto específico de la granja o planta), así como la unidad de proceso excluida del estudio delimitados (granja de reproductoras, (huevo mesa), consumo y disposición final de la carne de pollo).



**Figura 1. Límites y Alcance del estudio del Proceso Productivo Avícola Fuente: Autores**

**Reglas de Exclusión:** Para la implementación de la metodología ACV fue necesario excluir procesos debido a la amplitud del alcance como en la complejidad del levantamiento de información, tales como: granja de ponedoras (huevo de mesa), el consumo de carne de pollo y la disposición final de los residuos generados en la misma. No se contemplaron los residuos sólidos generados en los procesos incluidos en los límites del estudio, ya que estos son tratados por una empresas terceras, al igual que la generación de lodos (utilizados en compost); los impactos asociados a la obtención de materias primas (reactivos, insumos, combustibles, etc.), como de los instrumentos utilizados en el área de mantenimiento, al igual que las cargas ambientales asociadas a: transporte de materias primas (alimentos, cestas, insumos, químicos, repuestos, equipos, herramientas, etc.), los bienes de capital y obras (equipos de procesamiento, maquinarias, sistemas de tuberías,

vehículos, edificios, obras civiles, etc.), consumo de químicos utilizados en los laboratorios para los análisis de calidad del agua cruda como del agua tratada.

**Análisis del Inventario de Ciclo de Vida (ICV):** Esta fase esta direccionada por la norma NTC ISO 14042 (Evaluación del Impacto de Ciclo de Vida), que tiene por objeto la evaluación de los IAP significativos a partir de los resultados del análisis de inventario.

**Revisión de la Información:** La eficacia del estudio dependió de la calidad de los datos utilizados en el inventario de ciclo de vida, siendo esta validada y aprobada por los responsables de los procesos: Ingenieros de Operación, coordinadores ambientales, técnicos de mantenimientos e investigadores.

**Selección del Método de Evaluación:** Fue seleccionado el software Simapro 7.1® por disponibilidad de licencia, método EDIP 2003 y la base de datos Ecoinvent v.1.3.; versión 2©, con el fin de proponer alternativas de mejora para mitigar impactos y mejorar la sostenibilidad del ciclo productivo del pollo.

**Selección de categorías de evaluación de impactos.** La evaluación de impactos se relacionó mediante el análisis de caracterización según la norma, con la finalidad de identificar los IAP más significativos en cada uno de los subprocesos que conforman el beneficio avícola. Una vez aplicados los enfoques correspondientes se priorizo la interpretación en diez categorías de impacto: Calentamiento Global, Formación Ozono (vegetación, humana), Acidificación, Eutrofización Terrestre, Eutrofización Acuática (N) y (P), Toxicidad Humana Aire, Toxicidad Humana Agua y Toxicidad Humana Suelo.

**Levantamiento de Inventario:** Se realizó el listado de los equipos eléctricos y electrónicos requeridos en las diferentes operaciones unitarias que integran los procesos principales para la producción del pollo y adicional a ello se determinó el consumo energético por operación unitaria (ver tabla 1), siendo la fuente de alimento para la creación del balance de energía y por consiguiente del inventario final del ciclo del pollo, como del balance másico y volumétrico global (ver tabla 2) de los procesos de estudio.

**Tabla. 1 Balance energético global**

Consumo Mensual	Unidad	Granja Reproducción	Incubación	Granja Engorde	Beneficio	Distribución	Total
Energía Eléctrica	kWh	432,334	11,759	99,500	90,516	0,112	634,22
Gas Natural	m3	0,000	0,000	0,023	0,011	0,000	0,03

**Autor: Elaboración propia.**

**Tabla. 2 Balance másico y volumétrico global**

Consumo Mensual	Unidad	Granja Reproducción	Incubación	Granja Engorde	Beneficio	Distribución	Total
Agua Potable	m3	1,31E+01	2,06E+00	8,67E+01	5,38E+00	3,26E-05	107,25
Agua residual	m3	1,57E+01	2,10E+00	2,53E+00	5,46E+00	3,62E-05	25,75
Aditivos	mL	0,00E+00	4,55E+02	5,08E+00	5,46E+00	0,00E+00	465,34
Desinfectante	kg	1,25E-01	5,04E-01	7,95E-02	7,12E-02	7,26E-05	0,78

**Autor: Elaboración propia.**

## ANÁLISIS DE RESULTADOS

### Análisis de Contribución Ambiental Porcentual

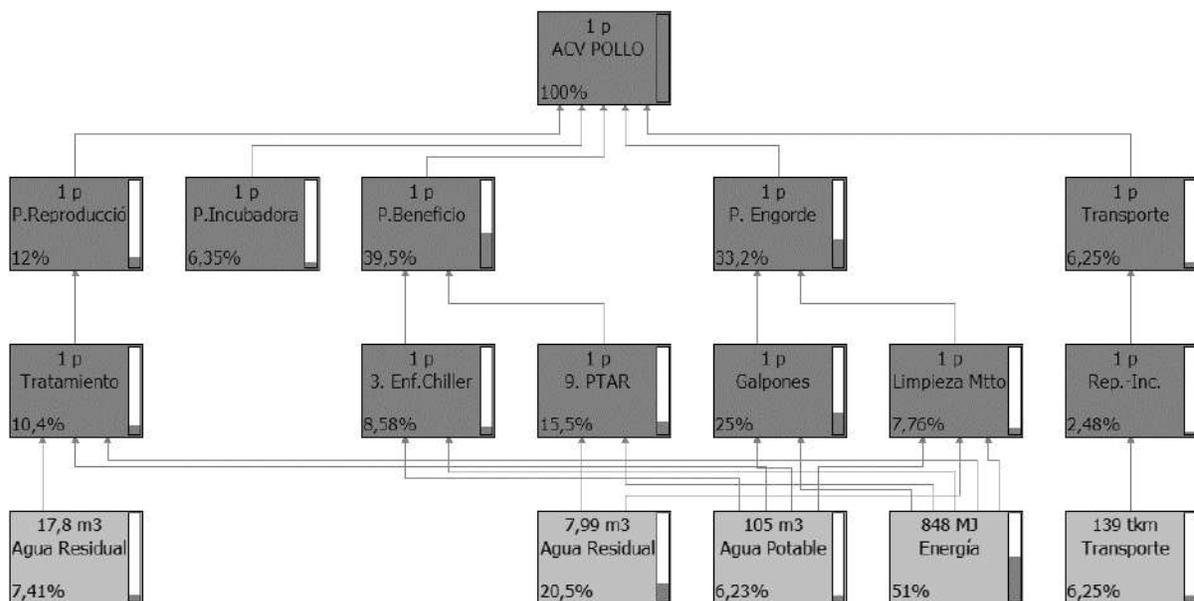
Los procesos (granjas y plantas) que integran el sector avícola, fueron definidos de forma individual y fueron habilitados en cajas denominadas ensamblajes (subprocesos) tales como: la granja de reproductoras y de engorde o crecimiento, planta de incubación, etc. Posteriormente, se ingresaron los inventarios tales como: balances máxicos, volumétricos, energéticos y cargas ambientales, para cada subproceso (cajas de color gris oscuro), en relación a la unidad funcional del estudio (ver figura 2).

De la figura 2 se evidenció que el mayor impacto ambiental fue atribuido a la Granja de Reproducción, con una contribución ambiental del 53,4% concerniente a la caracterización del subproceso de vivienda que asocio el impacto en un 47,1% (88% del 53,4%) debido al consumo energético requerido en el proceso. En segundo lugar, se encuentra la Planta de Beneficio, con un porcentaje del 20,9%, atribuido principalmente al subproceso del Tratamiento de agua residual "PTAR" en un 8,19% (equivalente al 39,19% del 20,9%), debido a la caracterización del efluente tratado y vertido a la fuente hídrica, como del consumo energético requerido en la planta. En tercer lugar, se evidenció el aporte ambiental por la granja de Engorde con un 17,6%, basado en los consumos energéticos realizados en los galpones (iluminación, calefacción, etc.) con una participación de 13,2% (0,75% del 17,6%). Finalmente contribuyen en baja relación los subprocesos de Planta de incubación con un 3,36%; seguido del Transporte en un 3,31% y la planta de distribución con 1,44%; asociados al consumo de aditivos químicos, combustión de ACPM y uso de energía eléctrica.



**Figura 2** Árbol de Proceso Global del Ciclo de Vida en la Producción Avícola. Fuente: Método EDIP 2003. Software SIMAPRO 7.1®

Como análisis de sensibilidad fue necesario excluir el consumo energético de las viviendas adscritas en la granja de reproducción ya que alteraba el análisis global del proceso (se recomendó el uso de paneles solares, para la disminución de dicho recurso). De lo anterior se logró obtener el modelo ideal de los IAP del proceso avícola, como se visualiza en la figura 3.

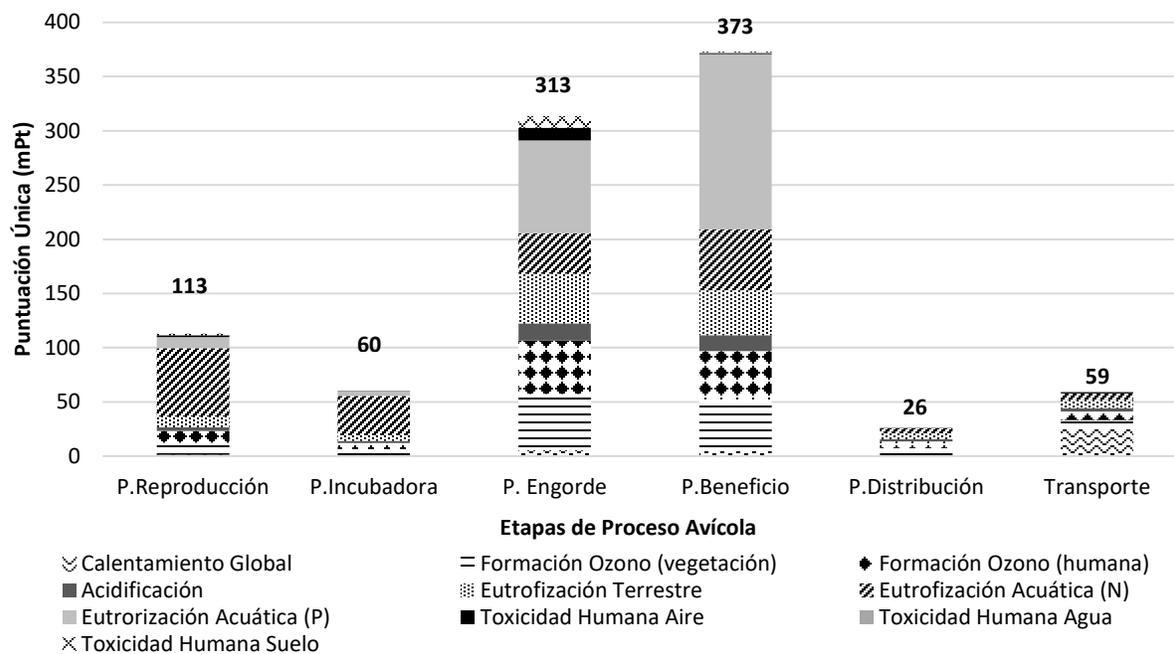


**Figura 3** Árbol de Proceso Global del Ciclo de Vida en la Producción Avícola Ideal. Fuente: Método EDIP 2003. Software SIMAPRO 7.1®

Se observa en la figura anterior, que el orden de consumo máximo de energía se encuentra en la planta de beneficio, con un porcentaje de consumo de 39,5% causado por la PTAR debido al agua residual que maneja en un contenido del 20%, demostrando evidentemente que es este proceso el que en realidad es el causante de alto consumo de energía fósil; en otras palabras, obedece al consumo de energía eléctrica y térmica que impactan la categoría de Eutrofizaciones Acuáticas en presencia de (P) y (N). Continuando con nuestro análisis, la contribución de la granja de engorde aporta con un 33,19% en segundo lugar; mientras que la P. de reproducción aporta con un 11,98%; le sigue la planta incubadora con 6,35%; transporte un 6,25% y finalmente distribución con un 2,72%.

### Evaluación de puntuación única media

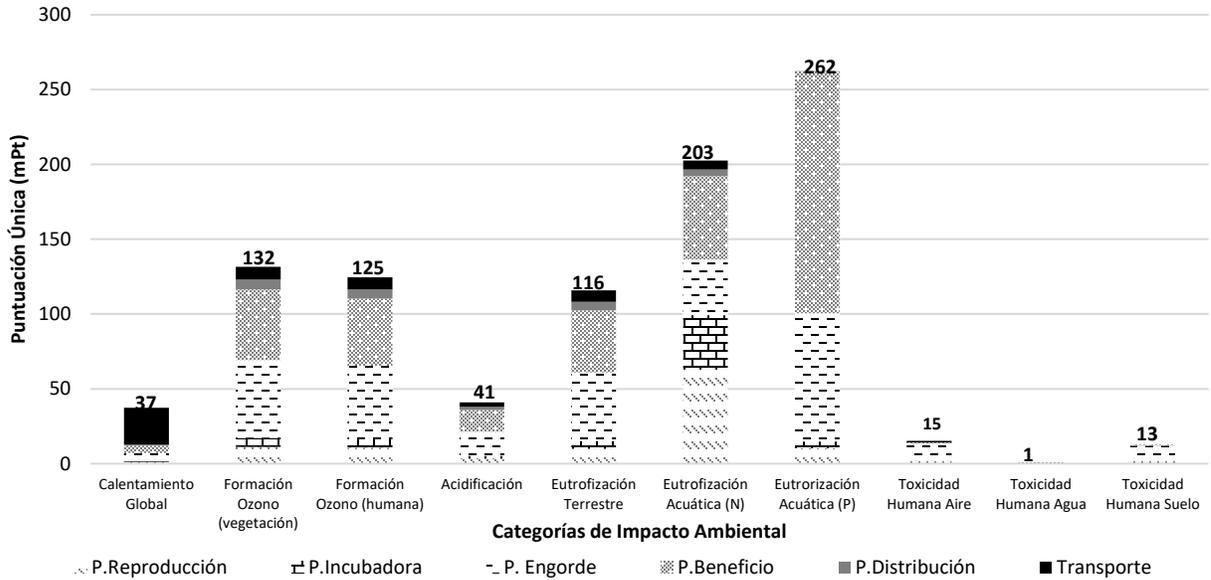
La evaluación del impacto ambiental para todas las categorías de estudio, se normalizo a través de la unidad conjunta denominada mid-point (mPt), que equivale a la centésima parte de la carga ambiental anual de un ciudadano europeo medio. El comportamiento de las categorías evaluadas como se presenta en la figura 4, se destaca la contribución ambiental de la planta de beneficio en un 39,51%, (373 mPt), asociado al consumo alto de energía eléctrica como de insumos químicos en las áreas de lavado. En segundo momento, se determinó la planta de Engorde en un 33,19%, (313 mPt), asociado al consumo de energía, consumo de químicos y generación de agua residual en su tratamiento posterior.



**Figura 4. Evaluación de Puntuación Media del Proceso Avícola. Método EDIP 2003. SIMAPRO 7.1**

El proceso siguiente fue la granja de reproducción en 11,98% (113 mPt) asociado al consumo energético, al igual que la planta incubadora en un 6,35% (60 mPt). Le continua el proceso de transporte asociado a la combustión del ACPM en un 6,25%(59 mPt) y del proceso de almacenamiento y distribución de carne de pollo, con un 2,72%, (26 mPt), atribuido por el alto consumo energético en términos de refrigeración y conservación de la cadena de frio de la carne como de las propias instalaciones.

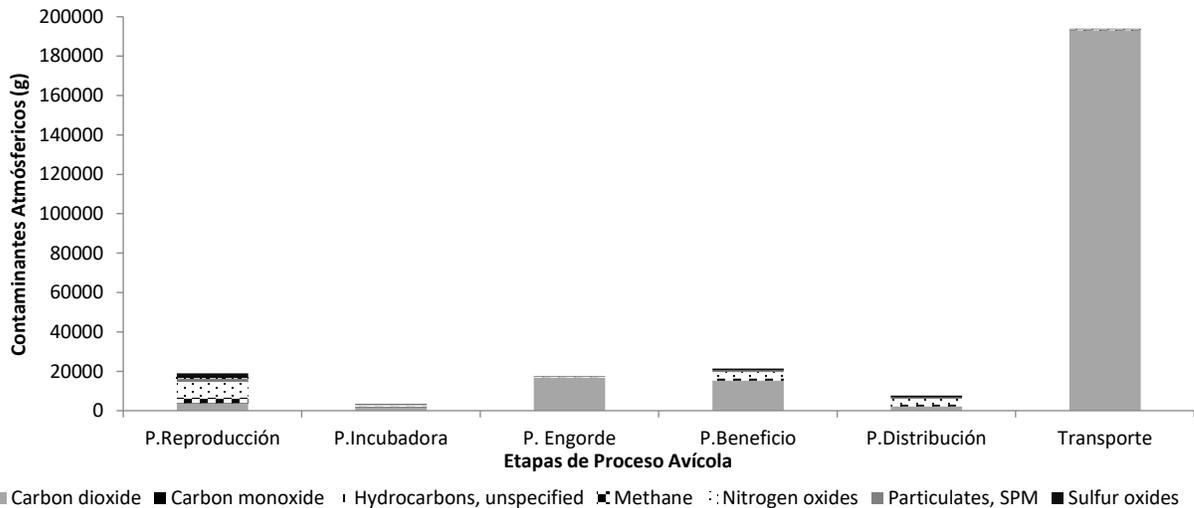
A continuación, en la figura 5, se analizó el comportamiento de las categorías de impacto en las cuales hubo más repercusión o presencia de mayor impacto, en su orden son: Eutrofización Acuática (P) con un 27,77% (262 mPt); la eutrofización Acuática (N) presenta un 21,47% (203 mPt), la formación de ozono (vegetación) y formación de ozono (humana) poseen un comportamiento similar 13,94% (132 mPt) y 13,19% (125 mPt) respectivamente; la eutrofización terrestre con un 12,28% (116 mPt); Acidificación 4,34% (41 mPt), Calentamiento global con un 3,95% (37 mPt), las demás en menor porcentaje.



**Figura 5. Evaluación de Puntuación Media por Categorías de Impacto. Método EDIP 2003. SIMAPRO 7.1®**

### Caracterización de Emisiones

Según la producción de emisiones atmosféricas atribuidas por el consumo energético y la combustión del ACPM, se logró identificar las sustancias químicas relevantes, como se observa en la siguiente figura.



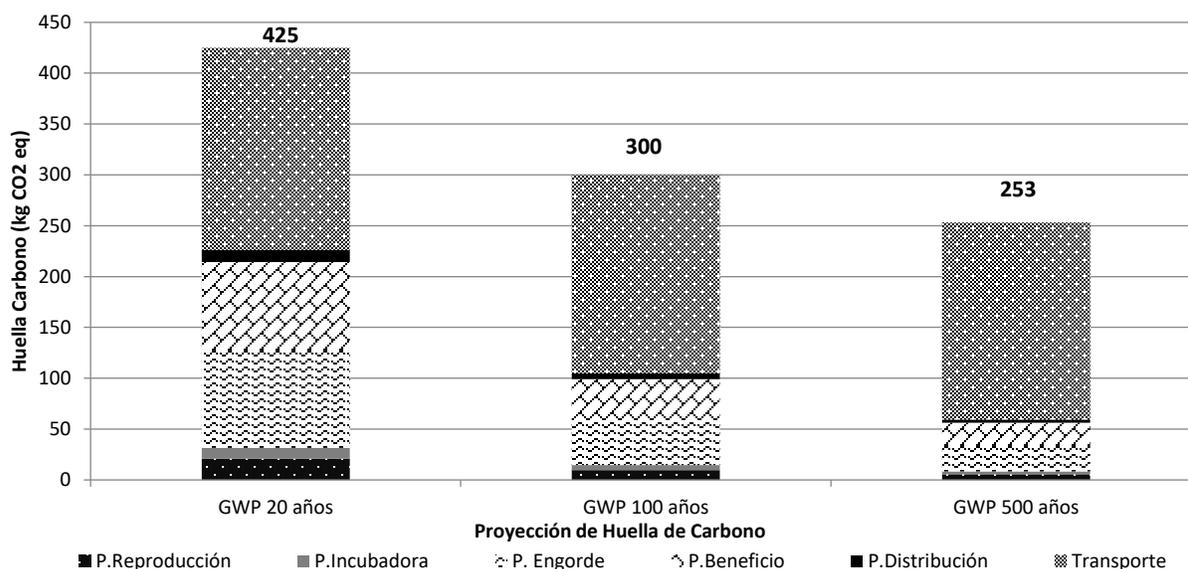
**Figura 6. Caracterización de Emisiones Atmosféricas. Método EDIP 2003. Software SIMAPRO 7.1®**

De la figura anterior se destaca la contribución de 262,67 kg de contaminantes atmosféricos, liderado por el Dióxido de Carbono referido al Sistema de Transporte avícola con un 88,62% del total de emisiones generadas, seguido de los Óxidos de Nitrógeno 5,88% y del metano 2,00%, y en pequeñas proporciones los óxidos de azufre y material particulado en 1,88% y 1,44% respectivamente.

## Análisis del Poder de Calentamiento Global

Como valor agregado al estudio, se estimó la huella de carbono a partir de las emisiones de gases de efecto de invernadero asociados al consumo energético y a la combustión de hidrocarburos (ACPM), para las diferentes operaciones unitarias contempladas dentro del alcance del estudio, utilizando el método IPCC (panel intergubernamental del cambio climático).

En la siguiente figura se puede apreciar el comportamiento decreciente en la estimación de la huella de carbono al ser evaluada por el método IPCC GWP quien proyecta el grado de afectación total del poder del calentamiento global (977,93 kg CO<sub>2eq</sub>), con el transcurso del tiempo, para periodos de 20 años (impacto del 43%, equivalente a 424,98 kg CO<sub>2eq</sub>), 100 años (impacto del 31%, equivalente a 279,74 kg CO<sub>2eq</sub>) y 500 años (impacto del 26%, equivalente a 253,21 kg CO<sub>2eq</sub>).



**Figura 7. Proyección de la Huella de Carbono. Fuente: Método EDIP 2003. Software SIMAPRO 7.1®**

Respecto a la función tecnológica del IPCC GWP presentan variaciones de las emisiones de CO<sub>2eq</sub>, a lo largo del tiempo. Para el caso de la evaluación a 20 años se obtuvo 425 kg de CO<sub>2eq</sub>, atribuido principalmente, al sistema de transporte con 198,72 kg de CO<sub>2eq</sub> asociado a la combustión del ACPM (contribución del 47%). seguido por la granja de engorde (contribución del 22% en 95,58 kg CO<sub>2eq</sub>) y de la planta de beneficio (contribución del 20% en 86,95 kg CO<sub>2eq</sub>), por el alto consumo energético. Posteriormente contribuyó la granja de reproducción e incubadora en un 5% y 3% (20,75 y 10,93 kg de CO<sub>2eq</sub> respectivamente).

## CONCLUSIONES

Los subprocesos que más contribuyeron a la generación de impactos ambientales fueron el 50,84%, en la granja Reproducción por el consumo de energía e insumos químicos, como se mencionó anteriormente, seguido de los subprocesos planta de Incubación en un 27,16%, seguida del subproceso de distribución con un 10,63%, el subproceso de la planta de beneficio en un 8,93%, luego de la granja de engorde con un 1,71% y finalmente el transporte con un 0,73%, ocasionados principalmente por los altos consumos de energía eléctrica, agua potable, generación de aguas residuales industriales y aguas residuales industriales tratadas.

El Análisis estableció igual comportamiento entre los periodos de evaluación (20, 100 y 500 años) a diferencia de que en el transcurso del tiempo los gases generados por el proceso de combustión incrementan relativamente, pasando del 26% a 20 años al 42% en 100 años y luego al 55% para 500 años. El efecto anterior obedece a la permanencia y alta concentración de los gases contaminantes en la atmosfera como del potencial de calentamiento global que cada uno ellos aportan al medio. De lo anterior, se infiere la importancia de utilizar energías alternativas (eólica, solar, etc.) como del tipo de combustible de origen fósil por biocombustibles.

La etapa que más emisiones Hídricas generó fue la Planta de Beneficio con un 63,56% del total de sustancias emitidas, seguido por la granja de engorde con un 23%. En lo que corresponde a las características químicas que más se emitieron fueron Demanda Química de Oxígeno (COD, Chemical Oxygen Demand) con un 31,85%, seguido de la Demanda Biológica de Oxígeno (BOD5, Biological Oxygen Demand) 18,34%, y el Ion Sodio (Sodium, ion) en un 14,44%.

Se hace necesario efectuar un control de consumo de energía en todos los procesos que conforman la obtención de carne de pollo, debido a la afectación que repercute en la salud humana y en los mismos costos de su producción. Y de la importancia de utilizar energías alternativas (eólica, solar, etc.) como del tipo de combustible de origen fósil por biocombustibles.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ABÍN RUEDA, R. (2016). Impactos Ambientales de la Producción de Huevos: Análisis de Ciclo de vida y Huella de Carbono. (Tesis de Maestría). Oviedo, España: Universidad de Oviedo. Retrieved from <http://hdl.handle.net/10651/38994>
2. AGUILERA DÍAZ, M. M. (2014). Determinantes del desarrollo en la avicultura en Colombia: instituciones, organizaciones y tecnología. Revista del Banco de la República, 89(1070), 21-54. Obtenido de <https://publicaciones.banrepcultural.org/index.php/banrep/article/view/8405>
3. ÁVILA ROJAS, O. A. (2015). Evaluación de Impacto Ambiental para la producción de Polietileno de Baja Densidad. (Tesis inédita de Maestría). Bucaramanga, Colombia: Universidad Industrial de Santander.
4. BOHÓRQUEZ ARÉVALO, V. D. (2014). Perspectiva de la producción avícola en Colombia. Obtenido de Repositorio Institucional UMNG: <http://hdl.handle.net/10654/12149>
5. CASTILLO GUZMÁN, M. (2017). Análisis del ciclo de vida y su impacto ambiental. Recuperado el 1 de Abril de 2017, de Gestiopolis: <https://www.gestiopolis.com/analisis-del-ciclo-vida-impacto-ambiental/>
6. CONGRESO DE COLOMBIA. (19 de diciembre de 1973). Ley 23. Por la cual se conceden facultades extraordinarias al Presidente de la República para expedir el Código de Recursos Naturales y protección al medio ambiente y se dictan otras disposiciones. Bogotá, Colombia. Obtenido de <http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=9018>
7. CONGRESO DE COLOMBIA. (24 de enero de 1979). Ley 9. Por la cual se dictan Medidas Sanitarias. Bogotá, Colombia. Obtenido de <http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=1177>
8. CONSTITUCIÓN POLÍTICA. (1991). Artículo 79. Bogotá, Colombia. Obtenido de <http://www.constitucioncolombia.com/titulo-2/capitulo-3/articulo-79>
9. DA SILVA, V. P., VAN DER WERF, H. M., SOARES, S. R., & CORSON, M. S. (2014). Environmental impacts of French and Brazilian broiler chicken production scenarios: An LCA approach. Journal of Environmental Management, 133, 222 - 231. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2013.12.011>
10. DE VRIES, M., & DE BOER, I. (2010). Comparing environmental impacts for livestock products: A review of life cycle assessments. Livestock Science, 128(1-3), 1 - 11. doi:<https://doi.org/10.1016/j.livsci.2009.11.007>
11. GARCÍA, Y., ORTIZ, A., & Lon Wo, E. (s.f). Efecto de los residuales avícolas en el ambiente. Recuperado el 25 de febrero de 2017, de Fertilizando.com: <http://www.fertilizando.com/articulos/efecto%20residuales%20avicolas%20ambiente.asp>

12. GÓMEZ DAZA, E. (2012). Estudio de gestión ambiental para la empresa avícola agrícola mercantil del Cauca - AGRICCA S.A. (Tesis de Maestría). Manizales, Colombia: Universidad de Manizales. Retrieved from <http://ridum.umanizales.edu.co:8080/xmlui/handle/6789/563>
13. GONZÁLEZ-GARCÍA, S., Gomez-Fernández, Z., Dias, A. C., Feijoo, G., Moreira, M. T., & Arroja, L. (2014). Life Cycle Assessment of broiler chicken production: a Portuguese case study. *Journal of Cleaner Production*, 74, 125-134. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.03.067>
14. ICONTEC. (01 de 12 de 2004). NTC-ISO 14001. Bogota. Recuperado el 02 de 01 de 20017
15. ICONTEC. (2007). NTC-ISO 14040. Obtenido de Control ambiental: [http://files.control-ambiental5.webnode.com.co/200000127-a0991a28c5/NTC-ISO14040-2007%20Análisis\\_CicloVida.pdf](http://files.control-ambiental5.webnode.com.co/200000127-a0991a28c5/NTC-ISO14040-2007%20Análisis_CicloVida.pdf)
16. IHOBE S.A. (2009). Análisis de ciclo de vida y huella de carbono: dos maneras de medir el impacto ambiental de un producto. Recuperado el 22 de julio de 2015, de IHOBE: <http://www.ihobe.eus/Publicaciones/Ficha.aspx?IdMenu=750e07f4-11a4-40da-840c-0590b91bc032&Cod={BC53A7DB-3EDB-4B96-AC9A-1F163ED0D76B}&Idioma=es-ES>
17. IPCH. (s.f.). IPCC Fourth Assessment Report: Climate Change 2007. Obtenido de IPCH: [https://www.ipcc.ch/publications\\_and\\_data/ar4/wg1/en/ch2s2-10-2.html](https://www.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/wg1/en/ch2s2-10-2.html)
18. KALHOR, T., RAJABIPOUR, A., AKRAM, A., & SHARIFI, M. (2016). Environmental impact assessment of chicken meat production using life cycle assessment. *Information Processing in Agriculture*, 3(4), 266-271. doi:<https://doi.org/10.1016/j.inpa.2016.10.002>
19. LINDENLAUF, M. M. (septiembre 4 - 8 de 2011). Environmental Implications of egg and meat production. ifeau - Institute of Energy and Environmental Research Heidelberg, 25.
20. MARTÍNEZ-GONZÁLEZ, A., CASAS-LEURO, O. M., ACERO-REYES, J. R., & CASTILLO-MONROY, E. F. (2011). Comparison of potential environmental impacts on the production and use of high and low sulfur regular diesel by life cycle assessment. *CT&F - Ciencia, Tecnología y Futuro*, 4(4), 123-136. Retrieved from <http://ref.scielo.org/bc2cgk>
21. MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE. (18 de abril de 2015). Resolución 631. Por el cual se establecen los parametros y los valores limites maximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de agua superficiales y a los sistemas de alcantarillado público y se dictan otras disposiciones. Bogotá, Colombia. Obtenido de [http://www.minambiente.gov.co/images/normativa/app/resoluciones/d1-res\\_631\\_marz\\_2015.pdf](http://www.minambiente.gov.co/images/normativa/app/resoluciones/d1-res_631_marz_2015.pdf)
22. MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL. (4 de abril de 2006). Resolución 601. Por la cual se establece la Norma de Calidad del Aire o Nivel de Inmisión, para todo el territorio nacional en condiciones de referencia. Bogotá, Colombia. Obtenido de <http://www.minambiente.gov.co/images/normativa/app/resoluciones/59-Resoluci%C3%B3n%20601%20de%202006%20-%20calidad%20del%20aire.pdf>
- RODRÍGUEZ PAZMIÑO, G. A. (2015). Estudio de Impacto Ambiental Expost "Granja Avícola Pollos El Placer". Obtenido de MAEtungurahua: <https://maetungurahua.files.wordpress.com/2015/05/eia-de-avicola-del-pillaro.pdf>

### **2.3.2 Ecodiseño y responsabilidad extendida del productor: propuestas para su implementación en Chile.**

#### **Alejandro Chacón Aguirre <sup>(1)</sup>**

Ingeniero Mecánico especializado como Ingeniero de desarrollo de productos, Universidad Católica de Valparaíso, Chile. Propulsor del Ecodiseño en Chile. Fundador de Ecodiseño.cl Ltda, empresa especializada en capacitación, asesorías y aplicación de Ecodiseño.

Creador y director de EcodAI, Congreso Latinoamericano de Ecodiseño.

Creador y coordinador del Diplomado en Ecodiseño para la Ley REP.

Docente de la Universidad de Chile en Ecodiseño, Sostenibilidad, Innovación, Materiales y Tecnologías de producción.

#### **Martín Aylwin Fernández.**

Abogado, Master en Derecho de la Energía y Recursos Naturales, Universidad de Melbourne, Australia. Profesor de Responsabilidad Extendida del Productor en el Magíster de Derecho Ambiental, Universidad del Desarrollo y del Diploma en Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible, de la Pontificia Universidad Católica de Chile.

**e-mail autor principal:** [alejandro.ecodiseno@gmail.com](mailto:alejandro.ecodiseno@gmail.com).

**Tópico del trabajo:** Ecodiseño en la Ley REP (Responsabilidad Extendida del Productor)

**Modalidad del trabajo:** Presentación oral

**Palabras clave:** Ecodiseño – Ley REP - Responsabilidad Extendida del Productor – Chile

## **I. INTRODUCCIÓN.**

El volumen de residuos generado en Chile, así como en el mundo, aumenta cada año. Aunque Chile es un país con una baja densidad de población, tiene una generación de residuos per-cápita superior a la de Brasil y México, (OCDE y CEPAL, 2016). Del total de residuos generados, actualmente un porcentaje muy bajo de ellos es reciclado y el resto es enviado a rellenos sanitarios o arrojado en vertederos ilegales. Esta realidad ha causado diversos problemas en las últimas décadas. Por una parte, ninguna población quiere vivir cerca de un relleno sanitario, y por otro, existen desincentivos legales (CONAMA, 2005) que eximen del pago del derecho de aseo a gran parte de los habitantes del país, dificultando la labor de las Municipalidades o de los gobiernos regionales, encargados de la recolección de la basura en Chile.

Para solucionar los problemas anteriores, en 2016 se publicó en Chile la Ley 20.920 “Marco para la Gestión de Residuos, la Responsabilidad Extendida del Productor y Fomento al Reciclaje”. Su

principal foco es la prevención, para disminuir la generación de residuos, incorporando para esto herramientas y metodologías que ayuden a las empresas a transitar hacia una cultura preventiva.

La Responsabilidad Extendida del Productor ('REP') hace responsable al productor de organizar y financiar el manejo de los residuos de sus productos luego del fin de vida. No todos los productos que se comercializan en Chile están afectados a esta ley, sino solo los denominados "productos prioritarios". De esta forma, el productor de estos productos prioritarios internalizan el costo ambiental derivado de sus residuos. Pero, para facilitar el tránsito desde una cultura de "lo desechable" hacia una nueva cultura centrada en "la prevención", en la Ley REP de Chile se establecen instrumentos de apoyo, siendo uno de ellos, y el que interesa estudiar en este artículo, el Ecodiseño.

Chile es pionero en incorporar el Ecodiseño como una metodología de apoyo dentro de la Ley 20.920 (REP), lo que sin duda representa un gran desafío y enormes oportunidades para todos los actores de la sociedad que participan o se ven afectados por esta nueva Ley. Este trabajo, y la experiencia chilena, podrían servir para otros países que busquen mejorar la gestión de sus residuos con un foco preventivo.

El presente artículo busca introducir a los lectores a la Ley 20.920, sus principales instituciones y actores (parte II). Pretende, luego, examinar desde una perspectiva histórica, si el instrumento desde su gestación ha servido para fomentar el diseño verde de los productos (parte III). Se introduce en el Ecodiseño y las maneras en cómo se ha aplicado en la experiencia de Chile (parte IV). Entrega una serie de Propuestas para que la incorporación del Ecodiseño se exitosa en la disminución de la cantidad de residuos y del costo de recuperación y valorización de los mismos (parte V). Concluye que, si bien en experiencias anteriores en otros países, la REP como instrumento autónomo ha tenido efectos limitados en el Ecodiseño, a través de las recomendaciones entregadas se pueden obtener mejores resultados en su implementación en Chile (parte VI).

## **II. LA LEY 20.920 MARCO PARA LA GESTIÓN DE RESIDUOS, LA RESPONSABILIDAD EXTENDIDA DEL PRODUCTOR Y FOMENTO AL RECICLAJE.**

La Ley N° 20.920 establece una serie de instrumentos de gestión ambiental destinados a prevenir la generación de residuos y fomentar su reutilización y valorización (la valorización incluye la preparación para la reutilización, el reciclaje y la valorización energética). Pese a que son diversos los instrumentos que contiene la ley, hay uno de ellos que tiene un claro protagonismo: la Responsabilidad Extendida del Productor (Congreso de Chile, 2016). Esta ley constituye un verdadero cambio de paradigma en la gestión de los residuos en Chile (Aylwin y Bortnick, 2017).

La Ley 20.920 modifica el régimen actual de residuos en Chile, el que hoy recae principalmente en los Municipios. Sin un régimen REP, el Municipio está mandatado por la Ley N° 18.695 Orgánica Constitucional de Municipalidades a la función de aseo y ornato de la comuna. En términos simples, el Municipio en Chile tiene a su cargo el servicio de extracción de basura. Las Municipalidades

pueden realizar dicho servicio de manera directa o concesionar la gestión de la extracción de basura a empresas privadas, a través de contratos.

La enorme complejidad de gestionar los residuos, sumado al hecho de que en Chile el 80% de la población está exento del pago del derecho de aseo (OCDE y CEPAL, 2016), ha terminado por sobrepasar la capacidad de los municipios para un manejo eficiente de los residuos domiciliarios (Taylor, 2000). Adicionalmente, el mercado del manejo domiciliario no ha estado exento de problemas a la Libre Competencia, especialmente en materia de licitación de servicios de recolección, transporte y disposición de residuos sólidos domiciliarios. Por lo que el propio Tribunal de Defensa de la Libre Competencia de Chile ha tenido que dictar instrucciones generales para normar el comportamiento de los agentes que participen en el mercado de servicios de gestión de residuos. (TDLC, 2013).

De esta forma, la REP modifica el régimen de responsabilidad que en Chile recae sobre la Municipalidad, responsabilizando a los productores de productos prioritarios (PPP) respecto de sus productos, luego del fin de vida de los mismos (post consumo). El productor, un actor que antes tenía un rol prácticamente nulo en el manejo de los residuos, pasa a ser un actor de gran relevancia. La REP, tal como la Ley N° 20.920 señala, es un régimen especial de gestión de residuos, conforme al cual los Productores de Productos Prioritarios son responsables de la organización y el financiamiento de la gestión de los residuos de los productos prioritarios que comercializa en el país, así como de informar a la autoridad y de cumplir las metas de recolección y valorización.

No todos los productos están sujetos a las obligaciones de la Ley, sino que sólo aquellos que la ley denomina como 'productos prioritarios', y son: aceites lubricantes, aparatos eléctricos y electrónicos, baterías, envases y embalajes neumáticos y pilas. Respecto de estos productos, y con un doble objetivo de hacer cumplir los principios de la Ley N° 20.920 y verificar el cumplimiento de las obligaciones del productor (financiar y organizar la gestión de residuos) es que el Ministerio del Medio Ambiente fijará metas de recolección y valorización de los residuos de los productos prioritarios.

Una aproximación general permite señalar que los productores para la ley chilena son: a) los fabricantes de productos prioritarios; b) los importadores de productos prioritarios y c) los que enajenan bajo marca propia productos prioritarios adquiridos a un tercero. Considerando la especial naturaleza del envase y embalaje se le regula de una manera diferente. Para la Ley N° 20.920 un envase no es un producto en sí mismo, sino que contiene otros productos (prioritarios o no); el productor de envases y embalajes no es aquel que fabrica el envase, sino aquel que introduce en el mercado el bien de consumo embalado y/o envasado.

Pese a que la ley obliga al PPP a financiar y organizar la gestión de los residuos de sus productos prioritarios, los productores no pueden cumplir dichas obligaciones por sí mismo. Deben hacerlo a través de un mecanismo instrumental que la ley denomina "Sistema de gestión", el que a su vez será responsable ante la autoridad. Esta institución se conoce en otros países como "Sistemas integrados de gestión" u "Organización de responsabilidad del productor" (OCDE, 2016).

El sistema de gestión es un 'tercero' a cargo de ejecutar las obligaciones del PPP de financiar y organizar la gestión de los residuos y de cumplir las metas que fije el Ministerio del Medio Ambiente. En términos simples, el sistema de gestión está a cargo de recolectar y tratar residuos de productos

prioritarios en una cantidad que le permita cumplir las obligaciones de cada productor, en el caso de los sistemas de gestión colectivo, o del productor, en el caso de un sistema individual.

El sistema de gestión individual puede ser el propio productor desarrollando las labores de manejo necesarias para el cumplimiento de la ley. Para ello, la Ley N° 20.920 le permite contratar directamente a los gestores.

El sistema de gestión colectivo, en cambio, agrupa a un conjunto de productores que de manera colectiva cumplen sus obligaciones legales. Por regla general, deben licitar los servicios de recolección y de valorización de los residuos. Esta estructura es legalmente más compleja, y tiene varios resguardos que buscan evitar problemas al correcto funcionamiento del mercado. Debe configurarse como una persona jurídica que no reparte utilidades, debe tener giro exclusivo para el manejo de residuos, y sus reglas para la incorporación de nuevos miembros, así como las bases de licitación, deben contar con un informe del Tribunal de Defensa de la Libre Competencia.

La ley regula otros actores de gran relevancia para el funcionamiento del sistema pero que sin embargo escapan del alcance de este artículo. Cabe expresar brevemente que los gestores son las personas naturales o jurídicas, públicas o privadas, que realizan las acciones de manejo de residuos que deben contratar los sistemas de gestión. Los comercializadores y distribuidores, se encuentran obligados a recibir los residuos de productos prioritarios por parte de los consumidores, si así lo determinan los decretos supremos, para lo cual deberán convenir con el sistema de gestión la operación de una instalación de recepción y almacenamiento de residuos. Por su parte, el consumidor tiene la obligación de entregar sus residuos a un sistema de gestión.

En el próximo apartado revisaremos, desde una perspectiva histórica, y más allá de la Ley N° 20.920 de Chile, de dónde surge el instrumento de la REP, y sus fundamentos, especialmente su relación con el llamado ‘diseño para el medio ambiente’, ‘diseño verde’ o en su acepción más moderna, el ‘ecodiseño’.

### **III. RESPONSABILIDAD EXTENDIDA DEL PRODUCTOR Y EL ECODISEÑO.**

#### **A) Fundamentos de la REP.**

La responsabilidad extendida del productor (REP) ha sido objeto, a lo largo de los años, de centenares de trabajos académicos. Este análisis ha permitido que profesionales de las más diversas disciplinas hayan definido, interpretado, desarrollado y analizado dicha institución. Desde su creación, la REP ha cambiado su foco de ser un instrumento principalmente orientado a promover el “diseño verde” (Ecodiseño) de los productos a uno que busca incentivar el manejo de los productos cuando se han convertido en residuos.

La emergencia de la REP se sitúa, como señala Tojo (2004) en medio de tres tendencias en materia de protección ambiental. La primera, la priorización de un enfoque preventivo por sobre un enfoque reactivo o denominado del “Final de la tubería”. La segunda, la necesidad de hacerse cargo de los impactos ambientales causados a lo largo del ciclo de vida de los productos y ya no sólo del foco de contaminación específico. La tercera, el cambio de foco de los instrumentos ambientales, desde un

mecanismo de comando y control a uno orientado a los incentivos y metas. De esta forma, deja de considerarse el proceso productivo y sus emisiones como la única fuente de impacto ambiental, y por primera vez el foco se concentra también en la contaminación del producto durante su uso y luego de su disposición final (Roy, 1994).

En este contexto, la REP fue concebida como un instrumento que permitía promover la mejora ambiental de los productos al tiempo que obligaba a los productores a financiar la recolección y reciclaje de sus productos al alcanzar el fin de vida (Kunz, 2014). De esta forma, se busca reducir no sólo el impacto ambiental del proceso productivo, sino que reducir también el impacto ambiental de los productos luego del fin de vida.

Bajo este ideal, se desarrollaron tempranamente experiencias de ecodiseño a nivel mundial con el objeto de promover el *design for environment* o diseño para el medio ambiente (Lindhqvist, 2001). Dentro de los proyectos de ecodiseño más relevantes de la década de los 90's se encuentran la guía de Ecodiseño: Una aproximación prometedora para la producción y consumo sustentable, del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUD, 2009) y la guía de EcoReDesign, del Royal Melbourne Institute of Technology y el gobierno de Australia (Gertsakis, et al, 1997).

La REP, como concepto formal, surge de un reporte que Thomas Lindhqvist presentó al Ministerio del Medio Ambiente de Suecia. En dicho reporte declara que un modelo exitoso para influenciar el diseño de los productos debe entregar un incentivo en el desarrollo del producto para que se minimizen los impactos ambientales a lo largo del ciclo de vida. De esta forma, el autor concibe el "Diseño para el medio ambiente" como parte de la REP y la define como:

*"La Responsabilidad Extendida del Productor es una estrategia de protección ambiental para lograr un objetivo ambiental de reducir el impacto ambiental de un producto, haciendo al productor de un producto responsable por el ciclo de vida completo de un producto y especialmente de la recolección, reciclaje y disposición final de ese producto"* (Lindhqvist, 2001).

De esta forma, en su origen, la REP se consideró como un mecanismo para crear incentivos a los fabricantes para hacer un "Diseño verde" de sus productos, o dicho de otra forma, un diseño considerando la variable ambiental (Dempsey, 2010). Tanto es así, que otro relevante autor señala que la REP 'genera incentivos económicos y políticos para la recuperación de los residuos, pero más ampliamente, para el diseño verde' (Lifset, 1993). La OCDE, en tanto señala que son dos los elementos distintivos de la REP. Por un lado, hay un traslado de responsabilidad en el manejo de residuos desde la Municipalidad al productor. Y por otro, el instrumento obliga al productor a incorporar la variable ambiental del producto. (OCDE, 2001).

La lógica que trasciende a esta postura es que, al hacer a los productores responsables del manejo de sus productos al fin de vida, éstos explorarán mecanismos para minimizar el costo del manejo de los residuos a través de alteraciones en el diseño del producto, como por ejemplo la elección de los materiales. La propia Ley N° 20.920 reconoce al "Diseño para el medio ambiente", o en su nombre más moderno, el Ecodiseño, como un instrumento de prevención de generación de residuos y de fomento del reciclaje.

Pese a que desde su génesis la REP fue concebida como un instrumento para incentivar el diseño y disminuir el impacto ambiental de los productos luego del fin de vida, la experiencia demuestra que

los casos en que la REP favoreció el diseño verde de los productos es limitada, y casi exclusiva a los envases y embalajes (Dalhammar, 2016). Y aunque ciertos autores (Tojo, 2004, Van Rossem, 2008) señalan que la REP ha sido exitosa en incentivar a los productores a diseñar sus productos con un enfoque ambiental, principalmente mejorando su reciclabilidad, en la práctica, los incentivos no están puestos en el diseño (Ecodiseño), sino que en la reducción de costos del sistema.

## **B) La REP: Realmente Incentiva el Ecodiseño?**

Para entender si la REP efectivamente fomenta el Ecodiseño o no, hay que entender primero la estructura que crean las obligaciones de la REP y su gobernanza. La Responsabilidad Extendida del Productor trae aparejado no sólo obligaciones legales, sino que la creación o formalización de estructuras compuestas por diversos actores.

Tal como lo declara la Ley 20.920, es el productor el que está obligado a organizar y financiar la gestión de los residuos de los productos prioritarios. Esta obligación se traduce en que el productor de productos prioritarios, bajo la ley chilena, es responsable por todas las etapas posteriores a las que se somete un producto una vez convertido en residuo, desde la recolección hasta su tratamiento (Aylwin y Bortnick, 2017).

Como hemos visto en el título II, en Chile, al igual que en la legislación europea, las obligaciones de la REP se pueden ejecutar a través de un sistema de gestión individual o colectivo. Pero, aunque existen en experiencias comparadas casos de sistemas de gestión individual, típicamente los productores han optado por colaborar entre ellos a través de mecanismos de cumplimiento colectivo para cumplir su responsabilidad legal individual (Van Rossem, 2008)

Desde la teoría, en un sistema de gestión individual (SGI) el productor se hace cargo de la recolección y valorización de los productos que aquel pone en el mercado, y lo hace directamente, como ocurre en la logística inversa, o lo hace a través de contratar a un tercero. De todos modos, lo característico de este sistema es que el costo de organizar y financiar la recolección y valorización del productor individual, no se ve afectado por sus competidores (OCDE, 2016).

En un sistema de gestión colectivo (SGC), en tanto, un grupo de productores se hace cargo de manera colectiva de sus productos de tal forma que se recolectan y valorizan los productos de todos los que lo integran sin identificar lo recolectado y valorizado con aquello que el productor pone en el mercado. (Van Rossem, et al, 2006). Lo característico de este sistema es que los productores integran una organización colectiva (el SGC) y pagan una tarifa para que, en su representación, el sistema contrate a los gestores que realizarán las acciones de recolección y valorización de los productos de los productores que integran el SGC.

Ambos sistemas tienen, como es esperable, sus ventajas y desventajas. En un SGI, el productor puede tomar decisiones que le permitan reducir el costo de la gestión de sus residuos, y es por esto que el SGI tiene un impacto positivo en el “Diseño para el medio ambiente” (OCDE, 2016). Cuando un productor es responsable del costo de la gestión de sus propios productos, el incentivo al diseño es robusto porque al ecodiseñar un producto, rebaja el costo del manejo de sus productos luego del fin de vida (Atasu and Subramanian, 2012). Como principal desventaja, hay una gran complejidad logística de recolectar y valorizar los productos propios, lo que hace que el SGI sea un sistema poco práctico y muy costoso (Kunz, et al, 2014).

La principal ventaja de un SGC, en cambio, son las economías de escala o densidad. A mayor cantidad de productores que integren un SGC, la gestión de los residuos es más costo-eficiente (OCDE, 2016). Por el lado de las desventajas podemos encontrar la complejidad de crear una

organización integrada muchas veces por competidores, la definición de las reglas de funcionamiento y la determinación de la logística de recolección.

La eficiencia que implica integrar un sistema de gestión colectivo, permite a los productores reducir los costos en el manejo de residuos si lo comparamos con un manejo individual. Pero pese a esta ventaja, presenta una deficiencia que la aparta del origen del instrumento. Las inversiones que los productores hacen respecto de sus productos (por ejemplo, hacerlos más livianos o más reciclables), se ven diluidas, porque todos quienes participan de un sistema colectivo se aprovechan de esas mejoras (Kalimo, et al, 2012). Es decir, los beneficios de que un productor tenga un producto más reciclable, se traspasan a todos, y no sólo a quien invierte en esa mejora. Esto desincentiva que los productores tengan productos más verdes.

De esta manera, si la obligación de la REP para el productor de productos prioritarios se cumple a través de un régimen colectivo, no se generan incentivos suficientes para el Ecodiseño, o si lo hace, la experiencia internacional demuestra que ha sido en casos limitados.

#### **IV. EL ECODISEÑO Y LA LEY REP: LA EXPERIENCIA EN CHILE**

Para mejorar la gestión de los residuos en Chile, se promulgó en el año 2016 la Ley 20.920 o Ley REP. En este cuerpo legal se pone el énfasis en la “Prevención de los residuos” antes que cualquier otra forma de valorización de los mismos, bajo el lema “el mejor residuo es el que no se genera”. Para poder alcanzar esta meta de prevenir los residuos de forma exitosa, se introdujo una serie de herramientas para la prevención, siendo la primera de ellas el Ecodiseño. Si bien el Ecodiseño existe desde hace casi 20 años, esta es la primera vez que se incorpora el Ecodiseño de manera explícita en una Ley REP en el mundo.

Para la Ley 20.920, el productor de los productos prioritarios es quien tiene el mayor grado de responsabilidad sobre los residuos que generan los productos que se ingresan al mercado. Al mismo tiempo, es quien tiene la mayor cantidad de opciones para modificar las decisiones relacionadas con el diseño del producto y disminuir así los costos asociados a su valorización post consumo. Para ayudar a los productores a realizar los cambios para disminuir los impactos y los costos asociados a la gestión de los residuos, se propone el Ecodiseño como metodología de trabajo.

¿Qué es lo que hace el Ecodiseño para mejorar la prevención de los residuos?

El Ecodiseño es una metodología de diseño y desarrollo de productos y servicios que incorpora algunos elementos nuevos al ejercicio proyectual tradicional del Diseño o la Arquitectura, los que permiten conocer y disminuir los impactos ambientales de manera preventiva. Principalmente estos nuevos elementos son el “Enfoque de Ciclo de Vida” y la medición de impactos ambientales de forma cuantitativa, a través de los “Ecoindicadores”, los que permiten realizar un proceso de innovación potenciado, disponiendo una cantidad de información mucho mayor, posibilitando un proceso de innovación “Sistémico”. Así, no solo se levanta información relativa a los impactos ambientales, sino que información relevante de todo el ciclo de vida para el proceso de innovación. Podemos decir que el Ecodiseño es una metodología para la gestión estratégica de la innovación, que se aplica en la etapa inicial de diseño, que minimiza de forma preventiva el impacto de productos y servicios, a lo largo de todo su ciclo de vida.

Un mal diseño de los productos no solo genera mayores impactos ambientales, sino también mayores costos a la hora de hacerse cargo de sus residuos al fin de vida (post consumo). Un producto diseñado especialmente para el reciclaje tendrá menores costos asociados por esto que uno que no. El Ecodiseño, a través del estudio de todo el ciclo de vida de los productos, genera un proceso de innovación que entrega un producto que reducirá sus residuos en toda la cadena de valor, facilitando su valorización al fin de vida, reduciendo de los costes asociados.

Lo que hemos aprendido a lo largo de 20 años de aplicación de Ecodiseño, es que es justamente en el momento del diseño, en el “Acto proyectual” en que se crea el producto, donde se definen la gran mayoría de los impactos ambientales que generará dicho producto (o servicio). Es en ese momento, en el que se decide con cual material se fabricarán sus componentes, con qué cantidad de material se fabricarán, qué cantidad de materiales diferentes se utilizarán, con qué procesos productivos se fabricarán sus componentes, en qué cantidad y tipo de envases se distribuirá, el tipo de “consumibles” que utilizará (si es que los necesita), si es que sus componentes serán reparables y, finalmente, si sus elementos constituyentes son separables, reutilizables, reciclables o valorizables energéticamente al final de su ciclo de vida (post consumo). Es precisamente aquí, en el momento del diseño, donde se “fijan” los impactos ambientales de todo el ciclo de vida de los productos.

Una vez que el producto existe, una vez que ya fue diseñado y pasa a las líneas de producción, las opciones que quedan en manos de los consumidores para disminuir los impactos ambientales son mínimas. En la práctica, una vez que compra un producto puede decidir sobre muy pocas cosas, como por ejemplo utilizar baterías recargables en lugar de desechables (si es que las utiliza), repararlo (si es que es posible), o llevarlo a un punto de reciclaje en vez de mandarlo al relleno sanitario junto con la basura. Los impactos ambientales quedan definidos desde el momento del diseño, instante en que solo puede intervenir el productor, a través del equipo de diseño del producto.

De esta manera se espera que a través la Ley REP y el Ecodiseño, los productores tengan un doble incentivo para mejorar los diseños de sus productos: por una parte podrán cumplir de manera más fácil y segura con las cuotas de reciclaje que la Ley les impone, y por otra parte podrán reducir los costes que esta obligación les impone, manteniendo la competitividad de sus productos ante los consumidores.

Es justamente este último actor, el consumidor, quién jugará un rol preponderante para la operación de todo el sistema asociado a la Ley REP, ya que es quien deberá separar los Productos Prioritarios post consumo y llevarlos a los puntos de recolección, instalados por los sistemas de gestión (sean estos colectivos o individuales). En este sentido, por ejemplo, es esencial que los productos indiquen el material de que están fabricados, en cada uno de sus componentes, para que el consumidor pueda reconocerlos fácilmente y depositarlos en los contenedores correspondientes. Actualmente, menos del 20% de los envases utilizados en los principales retails de Chile indican su materialidad.

De la misma manera, es importante que los componentes sean fácilmente separables, para que los consumidores puedan separarlos y depositar cada una de sus partes por separado, para no contaminar los productos que irán a reciclaje.

A partir de la simple constatación de las grandes deficiencias que actualmente se detectan en los productos de consumo masivo en Chile, con respecto por ejemplo a su facilidad para el reciclaje,

vemos que es de gran relevancia este punto de partida de la Ley REP, incorporando el Ecodiseño para facilitar el tránsito hacia una sociedad que aprende a reducir sus residuos, tanto post consumo como a lo largo de todo su ciclo de vida, entregando tanto la responsabilidad como las herramientas necesarias al actor de la cadena que tiene las mayores opciones de realizar mejoras a los productos con el fin de disminuir los residuos: los productores de los productos prioritarios.

Adicionalmente, la experiencia en Chile y en el mundo ha mostrado que el Ecodiseño no solo disminuye los impactos ambientales y ayuda a facilitar el trabajo que deben realizar los consumidores de separación y clasificación de los residuos, sino que es también un fuerte factor de innovación en los productos, lo que se asocia internacionalmente a la competitividad frente a las otras opciones del mercado. La innovación y la creatividad son factores impulsores de la sostenibilidad, siempre buscando y proponiendo nuevas maneras para realizar el tránsito hacia un modelo de consumo más limpio y eficiente, donde todos somos parte de la solución.

## **V. PROPUESTAS PARA LA REGULACIÓN DEL ECODISEÑO EN CHILE.**

Basado en los capítulos anteriores y con el objeto de fomentar el Ecodiseño en el régimen de responsabilidad extendida del productor creado por la Ley N° 20.920, recomendamos lo siguiente:

### **1. Incentivar la Responsabilidad Individual del Productor en un sistema colectivo.**

Como hemos visto, en un esquema individual de cumplimiento de las obligaciones de la Ley REP, el productor tiene más incentivos para diseñar mejor su producto. Pero, la norma general es que los productores integran SCG para aprovechar las economías de escala. Queda abierta la pregunta, ¿es posible crear un sistema de responsabilidad individual en el marco de un sistema de gestión colectivo?

Según señalan diversos autores (Kalimo, 2012) es incorrecto asumir que un sistema de Responsabilidad Individual del Productor no puede implementarse a través de un régimen colaborativo o colectivo, el problema se basa en que el sistema no reconoce las inversiones que hacen los productores de manera individual para mejorar sus productos.

En Europa, según señala Kalimo (2012) los sistemas de gestión se organizan a través de dos mecanismos de financiamiento, según la participación de mercado y según el modelo de retorno en la devolución. En el primer sistema, el productor paga por el costo de los residuos recolectados en proporción a su participación de mercado. En el segundo, el productor paga sobre la base del cálculo de participación en los productos que efectivamente se recolectan a través del sistema de gestión. En este último caso, como señala Dempsey (2010), un sistema que se basa en la proporción de los residuos que efectivamente se recolectan, favorece la responsabilidad individual del productor mucho más que calcular el costo según la participación de mercado. Eso si, aunque hay experiencias exitosas en Estados Unidos, Japón y Holanda, requieren de una gran organización e infraestructura (Kalimo, et al, 2012; Dempsey, 2010).

A partir de esta línea de argumentación recomendamos que el Ministerio del Medio Ambiente fomente entre los productores de productos prioritarios la creación de sistemas de Responsabilidad Individual, dentro de los sistemas de gestión colectivos, a través de la definición de reglas de costeo diferenciación del diseño de los productos, respecto a su tratamiento de valorización.

## **2. Pago diferenciado por facilidad/dificultad de tratamiento de valorización.**

La Ley 20.920 podría darnos una respuesta a como incentivar a los productores a que mejoren el diseño de sus productos. Pese a que es probable que en Chile imperen los sistemas de gestión colectivos, los que en teoría no fomentan un mejor diseño de los productos, la ley incluye un mecanismo que es interesante evaluar.

Al regular el funcionamiento del sistema de gestión colectivo, la ley señala que los productores deben financiar el funcionamiento en que incurra la respectiva persona jurídica. Y señala que las reglas que regulan el financiamiento deben sujetarse a criterios objetivos, 'tales como la cantidad de productos comercializados en el país y la composición o diseño de tales productos'. Y aunque el lenguaje utilizado por el legislador no da cuenta de un listado taxativo, éste es un elemento de la ley que permitiría fomentar el Ecodiseño de los productos para reducir los costos de tratamiento.

Si los productores que integran un SGC definen como criterio que los productos prioritarios con una composición o diseño 'verde' deban pagar una tarifa menor a la de productos similares sin ese diseño "mejorado", sin duda se incentivaría el Ecodiseño de los productos. Un ejemplo de esto sería un envase más liviano, o que se separen sus componentes más fácilmente, con menos cantidad de materiales diferentes, con menos piezas, con materiales más reciclables, etc).

Nuestra recomendación es que el Ministerio del Medio Ambiente incentive y fomente, desde los mismos Reglamentos que la autoridad debe dictar, a que los productores incorporen estas reglas en sus estatutos, con el objetivo de que definan reglas claras y objetivas sobre la tarifa que deben pagar los productos menos complejos de valorizar (más sustentables). Aunque los PPP no están necesariamente obligados a incorporar esta obligación, según el texto de la Ley, nuestra recomendación es que lo hagan. Si bien es cierto que el Ecodiseño implica una inversión inicial en desarrollo, la tarifa que pagará cada productor al sistema de gestión será menor ya que el costo del manejo de dichos productos será más bajo, lo que en nuestra opinión es una situación de ganancia para todos los actores.

Lo que proponemos no es una situación hipotética, ya que hay ejemplos operativos en la práctica. El sistema de gestión Fostplus cobra una tarifa más baja a los fabricantes o importadores de productos envasados cuando sus envases son de mono material (constituidos de un solo material), y una tarifa más cara cuando son envases multicapa, considerando que el costo de tratamiento, en este último caso, es mucho mayor. (OCDE, 2016).

## **3. Incentivar el modelo de separación en origen.**

Debemos destacar que existen básicamente dos modelos de recolección de residuos a nivel mundial: uno de separación en origen y otro de separación posterior. En el primero, como es el caso de Japón, son los consumidores los que realizan un ejercicio de separación selectivo minucioso, los que separan y depositan cada una de las partes de los productos en contenedores separados por tipo de materiales, para lo cual los productos deben indicar claramente de qué material están fabricados. En contraposición, en el otro modelo de separación posterior, todos los denominados "Envases

livianos” se depositan juntos en un mismo contenedor, mezclando distintos tipos de materiales, para luego ser separados en plantas industriales por medio de correas transportadoras, lectores de longitud de onda de cada material y chorros de aire. Esta segunda tecnología, que es ampliamente utilizada en Europa, facilita la tarea a los consumidores pero encarece el proceso de separación de los residuos para su reciclaje.

En el caso de Chile, si bien “el reciclaje” es una actividad aún incipiente, llegando no más allá de un 8% del total de los residuos post consumo (según las mejores estimaciones), el modelo utilizado es el de separación en origen.

El modelo de separación en origen presenta desafíos y oportunidades, ya que por una parte requiere informar y formar a una masa de consumidores cada vez mayor en temas que no son de conocimiento popular, como es la materialidad de que están fabricados los envases y embalajes. Pero al mismo tiempo, estos consumidores están cada vez más interesados en conocer los impactos ambientales de lo que consumen, prefiriendo aquellos de menores impactos y más respetuosos con el medio ambiente. Se reúnen así dos aspectos relevantes: el incorporar a los consumidores, educándolos para ser actores de un cambio positivo para todos, y por otra parte poner en valor los esfuerzos que realizan los productores para el bien común. Por el lado de los productores, el Ecodiseño facilita el cambio y mejora ambiental de los productos; por lado de los consumidores, ayuda a canalizar la información necesaria para realizar la tarea final de separación.

Por otra parte, el modelo de separación en origen reduce los costos de tratamiento a fin de vida significativamente, al evitar el transporte desde los puntos limpios hacia la planta de separación, así como todo el proceso de separación por longitud de onda.

Nuestra recomendación es fomentar modelos de separación en origen en Chile, para reducir los costes de tratamiento y aumentar la implicación de los consumidores, como actores relevantes del proceso de construcción de una sociedad más sustentable.

#### **4. Exigir la presentación de Planes de prevención de residuos.**

El Ecodiseño está regulado a nivel internacional a través de una norma ISO, la norma ISO 14.006, la que regula la Directrices de la incorporación del Ecodiseño, dentro de un sistema de gestión ambiental. Esta norma fue introducida en Chile por el Ministerio del Medio Ambiente en el año 2013, transformada en la norma chilena NCh ISO 14.006, idéntica a la norma internacional.

Esta norma, si bien no fue creada para la certificación del Ecodiseño, no prohíbe su aplicación para certificar productos o empresas, y ha sido ampliamente utilizada como base de certificación del Ecodiseño en Europa. Al igual que otras normas ISO, contempla un plan de mejora continua, de revisión y validación cada dos años.

A partir de este antecedente, proponemos la creación de la figura del “Plan de prevención de residuos”, para exigir a los PPP a que año a año mejoren los productos que ingresan al mercado, reconociendo a aquellas empresas que se esfuerzan por poner mejores productos con diseños que faciliten el manejo post consumo, lo que sin duda fomentaría el Ecodiseño entre los PPP.

## VI. Conclusiones y recomendaciones.

Las conclusiones indican que pese a que la Ley REP es un instrumento cuyo origen tiene como núcleo que el productor diseñe sus productos para facilitar su tratamiento post-consumo y con eso reducir el impacto ambiental y el costo asociado (Lindhqvist, 2001), en la práctica, el Ecodiseño se ha desarrollado de manera aislada y no necesariamente impulsado por la Ley REP. Para que el Ecodiseño se incentive ampliamente como una herramienta para la prevención de residuos, es necesario, como ocurre en Chile, que se regule a través de una ley, reglamento u otro instrumento regulatorio.

Nuestro trabajo concluye con recomendaciones sobre como regular e incentivar el Ecodiseño a través de diversas acciones y propuestas operativas, como por ejemplo fomentar la Responsabilidad Individual del productor, a través de un cobro diferenciado a los PPP según la facilidad/dificultad de tratamiento de sus residuos, incentivar un modelo de Separación en origen de los residuos, de la exigencia de Planes de prevención de residuos, así como de la señal clara de que los residuos deben poder ser efectivamente recuperados para un uso posterior, con valor comercial, y no meramente acumulados para un uso que muchas veces no se concreta, todo cual creemos se debe realizar a través de los reglamentos que la Ley 20.920 establece dictar.

### Referencias.

1. ATASU, A, SUBRAMANIAN, R (2012) Extended Producer Responsibility for E-waste: Individual or Collective Responsibility?, *Production and Operations Management*, vol 21 N° 6.
2. AYLWIN, M, BORTNICK, D (2017) La Ley N° 20.920 y la Era REP: Un Cambio de Paradigma en el Manejo de Residuos en Chile, *Revista Actualidad Jurídica, Universidad del Desarrollo*, vol N° 36.
3. BIBLIOTECA DEL CONGRESO NACIONAL DE CHILE (2016) Historia de la Ley N° 20.920 Establece Marco para la Gestión de Residuos, la Responsabilidad Extendida del Productor y Fomento al Reciclaje.
4. COMISIÓN NACIONAL DEL MEDIO AMBIENTE DE CHILE - CONAMA (2005). Política de Gestión Integral de Residuos Sólidos.
5. DALHAMMAR, C (2016), Industry Attitudes Towards Ecodesign Standards for Improved Resource Efficiency, *Journal of Cleaner Production*, vol 123.
6. DEMPSEY, M et al (2010), Individual Producer Responsibility: A Review of Practical Approaches to Implementing Individual Producer Responsibility for the WEE Directive, INSEAD SOCIAL INNOVATION CENTER.
7. ECOEMBES (sin año) La Actividad de Ecoembes y su Impacto en la Creación de Empleo Verde.
8. GERTSAKIS, J; H, LEWIS; Y C, RYAN (1997), *A Guide to EcoReDesign*, RMIT and Australian Government Publishing.
9. KALIMO, H, LIFSET, R, VAN ROSSEM, C, VAN WASSENHOVE, L, ATASU, A and MAYERS, K (2012) Greening the Economy through Design Incentives: Allocating Extended Producer Responsibility, *European Energy and Environmental Law Review*, December.
10. KUNZ, N, ATASU, A, MAYERS, K, VAN WASSENHOVE, L (2014) Extended Producer Responsibility: Stakeholder Concerns and Future Developments, INSEAD Social Innovation Center.
11. LIFSET, R (1993), Take it Back: Extended Producer Responsibility as a Form of Incentive-Based Environmental Policy, *Journal of Resource Management and Technology*, vol 21 N° 4, pp. 163-175.
12. MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE DE CHILE (2016). Ley que Establece Marco para la Gestión de los Residuos, la Responsabilidad Extendida del Productor y Fomento al Reciclaje.

13. ORGANISATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT - OECD (2001), Extended Producer Responsibility. A Guidance Manual for Governments, OECD Publishing.
14. ORGANIZACIÓN PARA LA COOPERACIÓN Y EL DESARROLLO ECONÓMICO [OCDE] Y LA COMISIÓN ECONÓMICA PARA AMERICA LATINA Y EL CARIBE [CEPAL] (2005) Evaluación del Desempeño Ambiental: Chile 2005.
15. ORGANIZACIÓN PARA LA COOPERACIÓN Y EL DESARROLLO ECONÓMICO [OCDE] Y LA COMISIÓN ECONÓMICA PARA AMERICA LATINA Y EL CARIBE [CEPAL] (2016) Evaluación del Desempeño Ambiental: Chile 2016.
16. ORGANISATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT - OECD (2016), Extended Producer Responsibility. Updated Guidance for Efficient Waste Management, OECD Publishing.
17. ROY, R (1994) The Evolution of Ecodesign, Technovation, vol 14 N° 6.
18. TRIBUNAL DE DEFENSA DE LA LIBRE COMPETENCIA – TDLC (2013) Instrucciones de Carácter General N° 3/2013.
19. TOJO, N (2004), Extended Producer Responsibility as a Driver for Design Change – Utopia or Reality? Doctoral Dissertation, The International Institute for Industrial Environmental Economics, Lund University.
20. UNITED NATIONS ENVIRONMENTAL PROGRA UNEP (2009). Design For Sustainability: A Step-By-Step Approach.
21. VAN ROSSEM, C, TOJO, N, LINDHQUIST, T (2006) Lost in Transposition. A Study of the Implementation of Individual Producer Responsibility in the WEE Directive, Greenpeace International.
22. VAN ROSSEM, C (2008) Individual Producer Responsibility in the WEE Directive, From Theory to Practice? Doctoral Dissertation, The International Institute for Industrial Environmental Economics, Lund University.

## 2.4 EDUCACIÓN PARA EL ECODISEÑO

#### **2.4.1 Propuesta metodológica para la integración de aspectos ambientales a través del ecodiseño en la elaboración de productos con fibras naturales**

##### **M. T. A. M. Dulce María Clemente Guerrero <sup>(1)</sup>**

Profesora-Investigadora, Universidad Tecnológica de la Mixteca. Maestra en Tecnología Avanzada de Manufactura, Universidad Tecnológica de la Mixteca. Licenciada en Diseño Industrial, Universidad Autónoma Metropolitana.

##### **M. T. A. M. Armando Rosas González**

Profesor-Investigador, Universidad Tecnológica de la Mixteca. Maestro en Tecnología Avanzada de Manufactura, Universidad Tecnológica de la Mixteca. Ingeniero en Diseño, Universidad Tecnológica de la Mixteca.

##### **Dr. Ignacio Hernández Castillo**

Profesor-Investigador, Universidad Tecnológica de la Mixteca. Doctor en Modelación Matemática, Universidad Tecnológica de la Mixteca. Maestro en Ciencias en Ingeniería Industrial, Instituto Tecnológico de Celaya. Ingeniero Industrial, Instituto Tecnológico de Celaya.

##### **Dra. Orquídea Sánchez López**

Profesora-Investigadora, Universidad Tecnológica de la Mixteca. Doctora en Modelación Matemática, Universidad Tecnológica de la Mixteca. Maestra en Ciencias en Ingeniería Industrial, Instituto Tecnológico de Celaya. Ingeniera Química, Instituto Tecnológico de Celaya.

**Dirección:** Carretera a Acatlima Km. 2.5, Huajuapán de León, Oaxaca – C.P. 69000 – México – Tel: 55 41 38 82 75

**Email:** [dulce@mixteco.utm.mx](mailto:dulce@mixteco.utm.mx)

## **RESUMEN**

El siguiente trabajo presenta una propuesta metodológica para el diseño y elaboración de productos con fibras naturales, combinando la Metodología de Ulrich y Eppinger para el desarrollo de producto y la Metodología de Ecodiseño IHOBE, ya que esta última solo incluye aspectos ambientales sin abordar actividades del diseño tradicional. Por lo tanto, se consideró necesario y enriquecedor mezclar aspectos de ambas metodologías. El Ecodiseño es un concepto relativamente joven que comenzó a desarrollarse en los Países Bajos, actualmente incluye normas que sirven para minimizar los impactos ambientales al momento de diseñar un producto. Existen diversas investigaciones donde se aplica la Metodología de Ecodiseño IHOBE y varias de sus herramientas. La Creación de Valor Local (CVL) es un enfoque que hasta el momento no ha sido considerado en la mayoría de casos para el desarrollo de productos, a pesar de las enormes ventajas que generaría a nivel de los impactos ambientales, sociales y de organización en los recursos de un territorio. Todas las etapas de la metodología propuesta engloban tres aspectos principales: Diseño de producto, Ecodiseño y la Creación de Valor Local, esto con el fin de elaborar productos

usando fibras naturales que son catalogadas como desecho agroindustrial. En esta investigación, se utilizó el tronco de la planta del plátano cultivado en la localidad de Huajuapán de León, Oaxaca. Es de vital importancia hacer una adaptación de la CVL en los métodos de diseño actuales para generar conceptos locales y dotar al diseñador de un método establecido que sirva como pauta para lograr productos innovadores y socialmente responsables. Actualmente, esta metodología ha sido empleada para guiar a estudiantes egresados de la carrera de Ingeniería en Diseño, de la Universidad Tecnológica de la Mixteca, en el desarrollo de su proyecto de tesis.

**Palabras claves: Diseño de producto, Ecodiseño, Fibras naturales, Creación de Valor Local.**

## **INTRODUCCIÓN**

Anteriormente, se requería que los productos y procesos cumplieran únicamente con cierto nivel de calidad y seguridad, sin embargo, en los últimos años se han incluido también factores de tipo ambiental. En Inglaterra, la Asociación de Diseño Ecológico (EDA, por sus siglas en inglés, Ecological Design Association) ha hecho referencia al concepto de Ecodiseño, estableciendo un mayor entendimiento de la relación entre el diseño y la ecología. Ha definido que esta vertiente está dirigida a diseñar materiales, productos, proyectos y sistemas; que estén en armonía y traten con respeto a las especies vivientes y a la ecología del planeta. El reconocimiento de la práctica del Ecodiseño se ha reflejado en los diferentes grupos de trabajo e investigaciones compartidas que se han realizado en los Países Bajos y en el Reino Unido, entre diseñadores y organizaciones de la Unión Europea (UE) y la Organización de las Naciones Unidas (ONU), bajo el patrocinio de iniciativas del gobierno, de industrias e instituciones académicas (García, 2008).

En las diferentes iniciativas y programas gubernamentales implementados en cada país se han aplicado estándares internacionales para gestionar el desempeño ambiental de las empresas. Tal es el caso de las normas ISO (por sus siglas en inglés, International Organization for Standardization) organización que ha preparado el estándar ISO 14000, relacionado con la gestión ambiental de productos y empresas. En 1991 se aceptó que la ISO desarrollara estas normas, como respuesta se creó el comité TC 207, encargado de considerar los siguientes aspectos regulativos: Sistemas de gestión ambiental, Evaluación de desempeño ambiental, Auditoría ambiental, Eco etiquetado, Análisis del Ciclo de Vida (ACV) y Aspectos ambientales en los estándares de Productos (García, 2008).

Aunque el uso de estos estándares es voluntario, las compañías no pueden darse el lujo de ignorarlas pues la certificación asegura que han aprobado un proceso completo de verificación, lo que se traduce en seguridad y confianza para los clientes, usuarios, proveedores; además de ser una ventaja para entrar a distintos mercados.

El diseño ecológico o Ecodiseño se define de acuerdo con la norma internacional ISO 14062 como la integración de las limitaciones ambientales en el proceso de desarrollo de diseño del producto. Este enfoque se basa en dos principios fundamentales: una perspectiva del Ciclo de Vida (CV) y un enfoque multicriterio. El primer principio permite considerar todo el CV del producto o servicio (materias primas, producción, fabricación, distribución, uso y final de la vida), mientras que el segundo principio toma en cuenta la complejidad del medio ambiente a través de diferentes impactos ambientales (Tyl, Lizarralde, y Allais, 2015).

El concepto de CVL consiste en las actividades económicas que utilizan flujos de entradas y generan flujos de salidas disponibles para la comunidad local; incluyendo las perspectivas territoriales y del CV. Para el desarrollo de un producto local se deben establecer restricciones (materiales, necesidades, economía, habilidades humanas, etc.) en cada área

física a lo largo del CV, desde la extracción de la materia prima hasta su final de vida (Tyl *et al.*, 2015).

La economía globalizada ha traído muchos beneficios económicos; sin embargo, el consumo masivo y los paradigmas de crecimiento económico han contribuido a una crisis actual del sistema, en aspectos ambientales, sociales, económicos y financieros. Por otra parte, la producción local ha incorporado a menudo valores adicionales en los bienes (protección, comercio justo y abastecimiento local) (García, 2008).

El aprovechamiento de las fibras naturales ha sido una alternativa de solución para la reducción de la contaminación que se ha generado con la utilización masiva de los plásticos, lo cual hoy en día es preocupante por la degradación que está sufriendo el planeta. Por ello, se han tomado algunas medidas entre las cuales ha surgido el Ecodiseño, con el cual se involucran aspectos ambientales ocupando herramientas como el ACV del producto; además de requerimientos básicos como lo son la ergonomía, funcionalidad, usabilidad, entre otros aspectos que se toman en cuenta en un proceso de diseño tradicional.

Con este trabajo se buscó proporcionar una propuesta metodológica para la integración de aspectos ambientales en el proceso de diseño de productos elaborados con fibras naturales. Además, se propone retomar la CVL, tomando en cuenta la materia prima de la región, las características de su territorio y población; con la finalidad de integrar este nuevo concepto y generar ecoinnovaciones.

## **OBJETIVO**

Proponer un método para el diseño de productos elaborados con fibras naturales de la región integrando el Ecodiseño y el concepto de Creación Valor Local, para disminuir la utilización de materiales plásticos.

## **METODOLOGÍA EMPLEADA**

La Metodología de Ulrich y Eppinger se ocupó como referencia para abarcar lo concerniente al desarrollo de productos. El proceso de desarrollo de un producto es la secuencia de pasos o actividades utilizadas para concebir, diseñar y comercializar un producto. Muchos de estos pasos son de tipo intelectual y organizacional, más que físicos. Esta metodología se divide en seis fases e incluyen una gran variedad de herramientas propuestas por los autores (Ulrich y Eppinger, 2015).

Para la integración de aspectos ambientales se retomó la Metodología propuesta por la Sociedad Pública de Gestión Ambiental (IHOBE) en un manual que ofrece criterios a las empresas vascas, así como herramientas sencillas para que las organizaciones empiecen a incorporar aspectos de conservación del medio ambiente en el diseño de sus productos. El manual establece 7 pasos de implantación para que al aplicar el Ecodiseño se desarrollen productos y servicios con un reducido impacto ambiental en todo su ciclo de vida (CV) (Gobierno Vasco, 2000).

Los problemas ambientales generados por la economía globalizada se deben principalmente al excesivo consumo de recursos y a la ubicación de la producción en países con bajos salarios, donde no se toman en cuenta normas ambientales y sociales. Existen algunos inconvenientes que causan un impacto en el proceso de fabricación; por ejemplo, acortar la cadena de procesos requiere reducir la diversidad de materiales y la aplicación de procesos aditivos.

Tener en cuenta los problemas específicos locales puede ofrecer un gran potencial para ecoinnovar. Los problemas locales son un desafío en el diseño ya que invitan a las empresas y al equipo de diseño a reconsiderar la dimensión territorial y local de los productos y servicios.

Los desafíos de la CVL presentan discrepancias potenciales con las prácticas de diseño ecológico. Una razón es que, aunque el diseño ecológico es un campo de investigación ya establecido, sigue siendo difícil desarrollar un producto que esté particularmente relacionado con el ámbito geográfico, temporal y retomando consideraciones culturales y ambientales (Tyl *et al.*, 2015).

El Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (UNEP, por sus siglas en inglés, United Nations Environment Program) desarrolló una guía para la CVL. Los diseñadores tienen que entender e integrar en sus actividades de diseño una amplia gama de restricciones y características locales. El enfoque de CVL da la posibilidad a un territorio de satisfacer sus propias necesidades, creando valor añadido a las partes y aumentando los enlaces entre los diferentes participantes interesados, iniciando por el consumidor. Además, ofrece un gran potencial para revisar y enriquecer el proceso de diseño ecológico y diseñar productos ecoinnovadores; mediante el análisis de herramientas del Ecodiseño, la identificación de la contradicción entre CVL y los principales enfoques de diseño ecológico.

El pensamiento de CVL puede ser una gran idea para que los diseñadores desarrollen más conceptos, a través del diseño de nuevos productos, servicios y modelos de negocios. Para ir en esta dirección, es necesario incluir nuevas variables que rara vez se consideran en los procesos de diseño, como la mano de obra local, los recursos locales sostenibles o la personalización del nuevo producto o servicio para clientes locales (Tyl *et al.*, 2015).

El método propuesto en este trabajo tiene como objetivo el diseño y elaboración de productos con fibras naturales integrando aspectos ambientales durante el proceso de diseño, tomando en cuenta las etapas del CV y la CVL. También considera la alternativa de experimentación con fibras que estén al alcance de la localidad o aprovechando algunas que representen ser un desperdicio. Adicionalmente, se propone realizar una fase experimental para la caracterización del material.

## **RESULTADOS OBTENIDOS**

En la Tabla 1, se observan las fases que fueron consideradas de cada metodología para la integración de la propuesta, la cual se caracteriza por incluir aspectos del diseño de productos y la adición de aspectos ambientales, como las fases de la CVL. Al final del lado derecho de la tabla, se encuentran las etapas del método propuesto ilustradas con diferentes colores, de esta forma se pueden identificar las etapas consideradas de las otras metodologías.

### **Tabla 1: Integración de metodologías.**

Metodología de Diseño Ulrich & Eppinger	Metodología de Ecodiseño	Creación de Valor Local	Método Propuesto
Planeación	Estrategia	Investigación	Investigación
Desarrollo del Concepto	Nuevas ideas	Experimentación I	Experimentación
Diseño en el nivel sistema	Conceptos de producto	Experimentación II	Desarrollo del Producto
Diseño de Detalle	Diseño del producto		Evaluación
Pruebas y refinamiento			Discusión de Resultados

La Figura 1 presenta de manera gráfica el esquema de la metodología propuesta con cada una de sus fases y actividades principales.



**Figura 1: Metodología propuesta.**

A continuación, se describen cada una de las 5 fases con las actividades que conlleva la propuesta metodológica y la aplicación en la elaboración de productos con fibras naturales.

### **Fase 1. Investigación**

En la primera fase, se realizará una indagación bibliográfica con la cual se sustentará la realización del proyecto. En lo que corresponde al producto será necesario conocer y

determinar el usuario, los antecedentes e incluir el estado del arte del problema por solucionar. También se plantea considerar aspectos ambientales e ideas de mejora. Finalmente, se examinará información acerca de la localidad, para conocer los recursos, tecnología, cultura, habitantes y territorio que posee. A continuación, se explican las actividades que integran esta etapa y su relación con la integración de desarrollo de producto, el Ecodiseño y el concepto de CVL.

La metodología de diseño base contempla en esta etapa el proceso de planeación, el cual, considera oportunidades de desarrollo del producto identificadas por muchas fuentes, incluyendo sugerencias hechas por mercadotecnia, investigación, clientes y de comparación con productos de la competencia (Ulrich y Eppinger, 2015). Por ello es necesario identificar un punto de partida y comparación existente dependiendo el objeto, pudiendo ser un competidor directo o indirecto, mediante un análisis de productos similares en el mercado comparando sus características como lo son materiales, dimensiones, funciones, colores, formas, etc.

En el contexto de desarrollo de productos, una oportunidad es la idea de un artículo nuevo. Una oportunidad es la descripción de un producto en forma embrionaria, una necesidad recién percibida, una tecnología descubierta hace poco tiempo o una correspondencia inicial entre una necesidad y una posible solución. En la etapa más temprana del desarrollo, la incertidumbre oscurece el futuro, por lo que una oportunidad puede considerarse una hipótesis respecto a la forma de crear valor (Ulrich y Eppinger, 2015).

Una de las actividades referentes al Ecodiseño es un análisis del CV del producto de referencia identificando las entradas y salidas con el fin de detectar oportunidades para llevar a cabo la planeación de producto y de esta forma integrar estas dos metodologías. También se debe investigar y determinar las estrategias del Ecodiseño que pudieran implementar en cada una de las etapas del CV del producto.

Con respecto al concepto de CVL se indagaron características de la localidad y su población por medio de los siguientes puntos: la etnografía, conocer las restricciones a los materiales de entrada y salida además de limitar el territorio.

Para el caso de estudio del método propuesto, se resalta e investiga la importancia del uso de fibras naturales, presentando algunos proyectos que se han desarrollado como respuesta al problema de la contaminación, esto con el fin de obtener información con referencia a las fibras naturales (usos y producción).

Los subproductos agrícolas son abundantes y económicos, son fuente de fibras con celulosa; además, las fibras de base agrícola tienen propiedades adecuadas para la fabricación de diversos compuestos, textiles, pulpa y papel. Las principales fuentes de fibras de la agricultura son el cultivo de maíz, trigo, arroz, sorgo, cebada, caña de azúcar, la piña, plátano y coco (Reddy y Yang, 2005).

En los últimos años, se ha incrementado la tendencia por el uso de materiales plásticos cargados con rellenos lignocelulósicos, debido a los beneficios que aporta al material en cuanto a rigidez, resistencia mecánica, bajo peso, entre otros (Cruz, Fuentes, Martínez, Canché Y García, 2006). Un ejemplo de su aplicación es la investigación hecha en la ciudad de Mérida, Yucatán; donde se aprovecharon desechos vegetales para la obtención de materiales compuestos poliméricos como alternativa para la fabricación de productos industriales como: muelles, perfiles para ventanas y puertas, paneles para la industria automotriz, cercas, barandas, etc. Se utilizó una matriz polimérica de polietileno de alta densidad (PEAD), produciéndose materiales compuestos con diferentes formulaciones, resultando un incremento en las propiedades mecánicas a flexión.

El plátano es una fruta que tarda en ser cosechada de 9 a 12 meses, los agricultores tienen que cortar la mata de la planta una vez que el fruto está maduro. En promedio, los plátanos

recolectados representan el 12% del peso total de las matas cortadas, los frutos son los únicos elementos que son aprovechados y el resto de material es considerado como residuo agroindustrial (GINUMA, 2000). Derivado de esto, se ha estimado que por cada mata cosechada son generados 60 kg de pseudotallo y que en cada hectárea cultivada se producen 2 600 matas (CONACYT, 2016). En el año 2016, la SAGARPA informó que en México se obtuvo un volumen de 2.4 millones de toneladas de plátano en una superficie de 78 600 hectáreas, generando un desperdicio de 214.36 millones de matas de plátano. Para el desarrollo de esta investigación se tomó como referencia a la Heroica Ciudad de Huajuapán de León, Oaxaca; ya que en este lugar se generaron 1 255 020 de las 9 540 570 matas de desperdicio de plátano a nivel estatal.

## Fase 2. Experimentación

Una contribución de este método es el incluir una fase de Experimentación con el fin de utilizar fibras naturales locales para crear nuevos materiales y aplicarlos en el desarrollo de productos.

Para la inclusión del concepto de CVL se apoya de la información obtenida de los habitantes y su localidad, con la finalidad de detectar fibras y aglutinantes que se producen en abundancia o se desechan; con el fin de aprovecharlos y evitar traerlos de otros lugares. Después, se tendrá que experimentar, generando diferentes materiales compuestos a partir de la variación en las materias primas, cantidades, procesos, entre otros factores.

En este caso, se eligió como materia prima un desecho agroindustrial del estado de Oaxaca de la ciudad de Huajuapán de León. En la Figura 2, se pueden observar el otate y un tronco de plátano siendo el primero una maleza y el segundo un desecho agroindustrial, los cuales se consideraron como alternativas que se producen en la localidad, así mismo, se presenta un aglutinante natural y como matriz se aprovecha el desecho de papel bond.



**Figura 2: Planta otate, tronco de plátano (izquierda) y aglutinante natural (derecha).**

Se prosiguió a realizar una serie de combinaciones con el fin de conocer el comportamiento de sus propiedades por medio de su caracterización y de esta forma contar con opciones para utilizar en distintos productos ya que la elección de la combinación será la más adecuada para la función y requerimientos del objeto. En este caso se experimentó con la misma fibra tanto para la elaboración de aglomerados como para papel variando el aglutinante para este último (Figura 3).



**Figura 3: Probetas de aglomerados (izquierda) y probetas de papeles (derecha).**

Posteriormente, se aplicaron pruebas físico-mecánicas como: absorción de agua, aislamiento térmico, dureza, flexión, tracción y compresión para los aglomerados; con el fin de obtener la caracterización de los nuevos materiales y visualizar sus futuras aplicaciones. Estas pruebas variaron para los papeles ya que se le aplicaron las pruebas de humedad, doblez y densidad.

### **Fase 3. Desarrollo de producto**

La tercera fase implica el Desarrollo de producto, iniciando con la conceptualización. Se deberá analizar el producto como un sistema, determinando sus elementos o subsistemas para finalmente, representar el diseño a detalle por medio de planos, renders, bocetos, etc. También se tendrán que determinar los requisitos ambientales en un Pliego de Condiciones obtenido de las ideas generadas con estrategias que contempla el Ecodiseño.

En el desarrollo del concepto, se deben identificar las necesidades del mercado objetivo, se generan y evalúan conceptos alternativos del producto, y uno o más conceptos se seleccionan para desarrollo y pruebas adicionales. Un concepto es una descripción de la forma, función y características de un producto, y por lo general está acompañado por un conjunto de especificaciones, un análisis de productos de la competencia y una justificación económica del proyecto, en este caso sería el medio ambiente. Para llevar a cabo esto, es importante generar conceptos contemplando el medio ambiente, retomando los puntos que se derivaron de las estrategias, oportunidades y CV del producto de referencia. Esto dependerá del objeto a diseñar como podría ser una celosía, papel, aglomerados, envases y embalajes, etc. Se generan nuevas ideas aplicadas dentro de los conceptos desarrollados sin perder de vista las etapas del CV del producto, ya que se puede dar soluciones en cada una de ellas mediante el diseño como lo es la forma, material y dimensiones por nombrar algunas o en el proceso mediante alternativas como la disminución de energía necesaria, tanto para su transformación como para su fabricación, o en la producción con técnicas más eficientes y energías limpias.

La fase de diseño de detalle incluye la especificación completa de la geometría, materiales y tolerancias de todas las partes únicas del producto y la identificación de todas las partes estándar a ser adquiridas de proveedores. Se establece un plan de proceso. La salida de esta fase es la documentación del producto, es decir, los dibujos o archivos de computadora que describen la geometría de cada una de las piezas y su herramienta de producción y los planes de proceso para la fabricación y ensamble del producto (Ulrich y Eppinger, 2015).

En esta etapa se contempla y estandariza la selección de materiales, el costo y capacidad de producción teniendo en cuenta la localidad, reforzando la CVL. En este caso al ser un

nuevo material también se tiene el control total del proceso productivo con la misión de estandarizarlo.

#### **Fase 4. Evaluación**

En la fase de Evaluación se llevarán a cabo pruebas con los productos, examinando sus características de diseño (ergonomía, resistencia, sensoriales, de usabilidad, etc.) y aspectos de su impacto ambiental (ecoindicadores, la rueda de estrategias, disminución de materiales, etc.).

#### **Fase 5. Discusión de resultados**

Para finalizar, será importante establecer una discusión de resultados, analizando el producto, observando sus impactos ambientales y la CVL. Existen investigaciones y aplicaciones de una variedad de herramientas para el diseño del producto, para el Ecodiseño y para la CVL, no obstante, su selección dependerá de cada caso en particular que se desarrolle.

### **DISCUSIÓN DE RESULTADOS**

Actualmente, este método se ha utilizado para el desarrollo de proyectos de alumnos de la carrera de Ingeniería en Diseño en la Universidad Tecnológica de la Mixteca; con el fin de dar soluciones amigables con el medio ambiente y beneficiando a la localidad. Los proyectos generados incluyen los diseños de una variedad de objetos, como una vajilla ecológica, una celosía modular, sistemas de envases y embalajes para mármol y cerámica, además de un envase para comida rápida.

Este método tiene la intención de obligar al diseñador a tomar en cuenta las etapas del CV de un producto, evitando impactar de manera negativa en alguno de ellos y logrando un producto competitivo, contemplando al medio ambiente.

Se logró integrar una metodología para el desarrollo de producto con herramientas y objetivos del Ecodiseño, además de tener el concepto de CVL, beneficiando a la localidad y ofreciendo un producto innovador y competitivo.

El tener en cuenta la localidad para la obtención de la materia prima generará un ahorro en costos de transportación y consumo de combustible.

A diferencia de forzar un material para obtener las características deseadas, en este método se busca aprovechar las propiedades que se obtenga del material generado.

Una de las fases clave es la de experimentación, ya que se busca reforzar el concepto de CVL. También se tiene la alternativa de utilizar distintas herramientas, tanto de desarrollo de producto como de Ecodiseño, dando la flexibilidad tanto al diseñador como al tipo de producto para ser abordados.

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

Gracias a la facilidad en el manejo de las metodologías, se pudieron determinar una serie de pasos, tanto para el proceso de diseño como para la elaboración de productos; fusionando actividades que tengan por objetivo aplicar, solucionar, utilizar o enfocarse en ideas concretas.

El concepto de CVL resultó importante para esta investigación, ya que se pretende generar productos ecoinnovadores que beneficiarían al territorio y habitantes locales; optimizando sus recursos y minimizando el impacto ambiental.

Los diseñadores tienen que entender e integrar en sus actividades de diseño una amplia gama de restricciones y características locales.

Se recomienda elegir las pruebas indicadas para los materiales generados, esto implicará buscar las normas ya establecidas. También se recomienda tomar en cuenta como usuarios a los habitantes de la misma localidad.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. **GOBIERNO VASCO.** (2000). Manual Práctico de Ecodiseño. Operativa de Implantación en 7 pasos. España: IHOBE, S.A. Sociedad Pública de Gestión Ambiental.
2. **BENJAMIN T, B., IVAN L., ROMAIN A.** (2015). Local value creation and eco-design: A new paradigm. *Procedia CIRP*, (30), PP. 155 – 160. doi: 10.1016/j.procir.2015.02.024.
3. **REDDY, N. Y YANG, Y.** (2005). Biofibers from agricultural byproducts for industrial applications. *TRENDS in Biotechnology*, vol. 23 (1), pp. 22-27.
4. **KARL T.U., STEVEN D. E.** (2013). Diseño y Desarrollo de Productos. Quinta Edición.
5. GINUMA. (2000). Universidad Pontificia Bolivariana. Recuperado el 04 de diciembre de 2017, de [http://virtual.upb.edu.co/pls/portal/PORTAL.www\\_media.show?p\\_id=38135459&p\\_settingssetid=4 &p\\_settingssiteid=0&p\\_siteid=234&p\\_type=basetext&p\\_textid=38135460](http://virtual.upb.edu.co/pls/portal/PORTAL.www_media.show?p_id=38135459&p_settingssetid=4 &p_settingssiteid=0&p_siteid=234&p_type=basetext&p_textid=38135460)
6. **CONACYT.** (01 de Julio de 2016). CONACYT agencia informativa. Recuperado el 14 de Abril de 2018, de CONACYT agencia informativa, <http://www.conacytprensa.mx/index.php/tecnologia/biotecnologia/8476-generacion-de-celulosa-a-partir-de-desechos-de-la-planta-del-platano>
7. **CRUZ R.H., FUENTES P., MARTÍNEZ O., CANCHÉ G. Y GARCÍA C.** (2006). Obtención de Materiales Compuestos a Base de Desechos Vegetales y Polietileno de Alta Densidad. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, vol. 5 (1), pp. 29-34.
8. **TYL, B., LIZARRALDEB, I. Y ALLAIS, R.** (2015). Local value creation and eco-design: A new paradigm. *Procedia CIRP*, (30), PP. 155 – 160. doi: 10.1016/j.procir.2015.02.024.
9. **GARCÍA PARRA, B.** (2008). Ecodiseño nueva herramienta para la sustentabilidad. México: Designio.

Asklfja

flasdkfñladsfa

## **2.4.2 Diseño de procesos químicos orientado al ecodiseño desde la perspectiva de ingenieros químicos y ambientales.**

### **Ernestina Moreno Rodríguez <sup>(1)</sup>**

Tiene un doctorado en Ciencias en Ing. Química por la Universidad Autónoma Metropolitana, Ciudad de México, una maestría en Ciencias en Ing. Química por el Instituto Tecnológico de Celaya, Guanajuato, México. Sus áreas de interés son optimización de proceso químicos, monitoreo de procesos y biogás.

### **Jesús Alejandro Ortiz Cruz <sup>(2)</sup>**

Tiene un doctorado en Ciencias en Ing. Química por la Universidad Autónoma Metropolitana, Ciudad de México. Actualmente trabaja para la empresa Braskem-IDESA, empresa comprometida con la sustentabilidad, productora de polietileno de alta y baja densidad.

**Dirección (1):** Calle Sta. Catarina Mártir, San Andrés Cholula, Puebla - Departamento de Ingeniería Química y Alimentos- Código Postal 72810 - País – México Tel.: +52(222) 229 21 26 –

**Email:** [ernestina.moreno@udlap.mx](mailto:ernestina.moreno@udlap.mx)

## **RESUMEN**

En la actualidad los seres humanos vivimos en un mundo globalizado, en donde se satisfacen nuestras necesidades exigiendo comodidad en los productos o servicios que utilizamos, lo cual es posible gracias al desarrollo de tecnologías y nuevos productos. Dichos avances vienen acompañados de nuevos diseños de procesos enfocados a las necesidades de la sociedad. Sin embargo, el diseño de un proceso químico conlleva a considerar una serie de variables como fuentes de materia prima, cantidad de energía requerida, residuos generados, subproductos, tratamiento de los subproductos, entre otras, que giran en torno a un proceso químico. Por lo cual, el proceso de diseño de un producto químico no debe de girar únicamente en torno a un análisis económico y de factibilidad técnica, sino que debe de llevarse a cabo bajo un enfoque de Ecodiseño, el cual proporcionará una visión más amplia del impacto del producto químico en relación a su entorno social y medioambiental. El objetivo de este trabajo de investigación consiste en identificar la metodología empleada por los ingenieros químicos y ambientales para el diseño de los procesos químicos con un enfoque basado en el Ecodiseño empleando herramientas como el análisis de ciclo de vida, ecoindicadores, matriz MET, entre otras herramientas.

**Palabras claves:** análisis de ciclo de vida, diseño, ecoindicadores, ingeniería, productos químicos.

## **INTRODUCCIÓN**

En la actualidad los seres humanos vivimos en un mundo globalizado, en donde se satisfacen nuestras necesidades exigiendo comodidad en los productos o servicios que utilizamos, lo cual es

posible gracias al desarrollo de tecnologías y nuevos productos. Dichos avances vienen acompañados de nuevos diseños de procesos enfocados a las necesidades de la sociedad [2].

Para comenzar con el diseño de un producto existe una metodología que consta de 6 etapas:

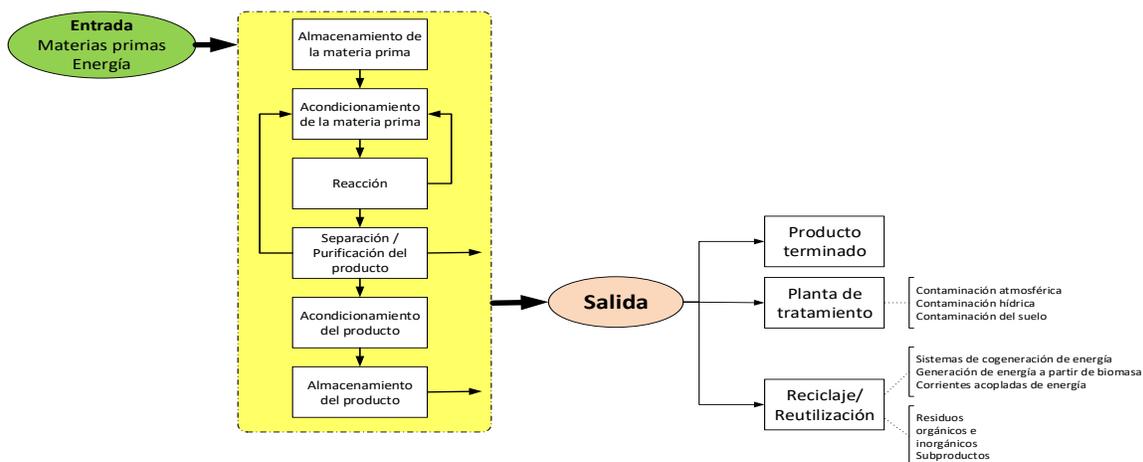
1. Generación de ideas. Los encargados de generar las ideas pueden ser los clientes, ingenieros, competidores, centros de investigación y universidades principalmente y el proceso comienza con la identificación de oportunidades y puede resumirse en los siguientes pasos:
  - Establecer un compromiso de innovación: texto que define las intenciones de la empresa o producto que lo diferencian del resto.
  - Generar y percibir muchas oportunidades: para este punto existen 7 técnicas que estimulan la identificación de oportunidades y son: seguir una pasión personal, elaborar listas de fallas, sacar oportunidades de las capacidades, estudiar a los clientes, considerar implicaciones de tenencias, imitar, pero mejor y aprovechar las fuentes.
  - Filtrar oportunidades: A través de un juicio holístico o encuestas.
  - Desarrollar oportunidades prometedoras: Asegurando que su desarrollo sea posible.
  - Seleccionar oportunidades excepcionales: Se puede utilizar el método "real- ganar- vale la pena"
  - Reflexionar sobre los resultados y el proceso: Se cuestiona al proceso en general.
2. Evaluación y selección de ideas. Consiste en verificar la viabilidad comercial, técnica y económica, así como la valoración de las reacciones de competidores y el ajuste a los objetivos de la organización.
3. Especificación del nuevo producto. La intención de esta etapa es obtener un mejor diseño incluyendo detalles como: tamaño, peso, estilo, seguridad del producto, vida útil, mantenimiento, etc. El método Zwicky es de utilidad en este paso.
4. Desarrollo e ingeniería del producto y el proceso. Se analiza el costo la calidad y el rendimiento.
5. Fabricación de prototipos y pruebas de mercado. En esta parte se realizan tanto pruebas de fabricación como pruebas de mercado para decidir el diseño definitivo del producto.
6. Fabricación y distribución. Se debe incluir un paquete de información que vaya con el producto.
7. La inversión para la creación de un producto a nivel industrial suele tratarse de cantidades importantes es por eso que no se arriesga el resultado y las empresas han invertido tiempo en el desarrollo de metodologías como la descrita previamente. A parte muchas veces es más conveniente invertir en la planeación del producto que en la reparación de sus fallas.

Sin embargo, el diseño de un proceso químico conlleva a considerar una serie de variables como fuentes de materia prima, cantidad de energía requerida, residuos generados, subproductos, tratamiento de los subproductos, entre otras, que giran en torno a un proceso químico (Figura 1). Por lo cual, el proceso de diseño de un producto químico no debe de girar únicamente en torno a un análisis económico y de factibilidad técnica, sino que debe de llevarse a cabo bajo un enfoque de Ecodiseño, el cual proporcionará una visión más amplia del impacto del producto químico en relación a su entorno social y medioambiental.

## **METODOLOGÍA**

El diseño de productos químicos implica partir de la identificación de una necesidad hasta culminar en la fase de disposición final del producto químico. Estos diseños pueden llevarse a cabo a partir de establecer nuevos diseños o rediseñar procesos químicos ya existentes. Las fases del diseño de productos químicos bajo un enfoque de Ecodiseño se describen a continuación:

1. Definición del problema. Se reconoce una necesidad social o de ingeniería, identificando el problema y sus restricciones. En esta fase se identifican, proponen posibles soluciones e incorporan las estrategias del Ecodiseño, como son los ciclos de vida del producto considerando todas aquellas trayectorias o ideas excepcionales para la consolidación del producto.
2. Proceso de síntesis. Se desarrolla en detalle el diseño preliminar de los procesos seleccionados para su comparación entre ellos [3]. Asimismo, se considera el impacto (medio ambiente, salud, seguridad, generación de residuos) de las posibles alternativas de diseño en base a los criterios de sustentabilidad (Ecoindicadores, Matriz MET, Huella de carbono, Huella hídrica, entre otras).
3. Proceso de diseño. Del proceso preliminar se evalúan aspectos como rentabilidad del proceso, definición de materiales [3]. Es una fase crítica para delinear criterios de sustentabilidad entorno al proceso químico seleccionado, considerando análisis funcionales, entorno de uso y de relación producto-usuario.
4. Proceso de análisis. Se prepara un diseño de ingeniería detallado, se evalúa la viabilidad económica del proceso, y se determinan los efectos medio ambientales, de seguridad y de salud. Finalmente, en esta etapa se elabora informe que incluye el diseño y optimización de ingeniería final, así como la administración del ciclo de vida del producto (ACV).
5. Producción. Se implementa la solución seleccionada e inicia la producción, considerando aspectos de calidad y rentabilidad del proceso químico, entorno a una producción más limpia.
6. Mercado. En esta fase se asegura que todos los factores asociados al distribución y comercialización del producto sean favorables para la empresa química.
7. Disposición final. Se verifica que el producto impacte de forma mínima en el medio ambiente durante la fase de disposición final del producto químico. Incorporando de esta forma información a cerca de la biodegradabilidad, reciclaje e impacto social y ambiental.



**Figura 1: Diagrama de flujo de un proceso químico generalizado**

El objetivo de establecer esta metodología de diseño va encaminado hacia la reducción del costo final, aumento de la calidad y aseguramiento de las expectativas del producto. Diversos investigadores se han enfocado en aspectos como la Integración del ecodiseño en los criterios ambientales en el diseño de productos industriales [4], emplean herramientas como el análisis de

ciclo de vida durante el diseño de productos [5], o bien relacionan aspectos del ecodiseño durante el desarrollo de productos [6].

## DISCUSIÓN DE RESULTADOS

La Figura 2 muestra cómo se pueden integrar elementos del Ecodiseño (criterios de sustentabilidad, análisis del ciclo de vida del producto y matriz MET) dentro de cada una de las fases del diseño de productos químicos. La incorporación de estos criterios representa un enfoque de diseño mucho más amplio en concordancia con el concepto de sustentabilidad (sociedad, economía y medio ambiente).

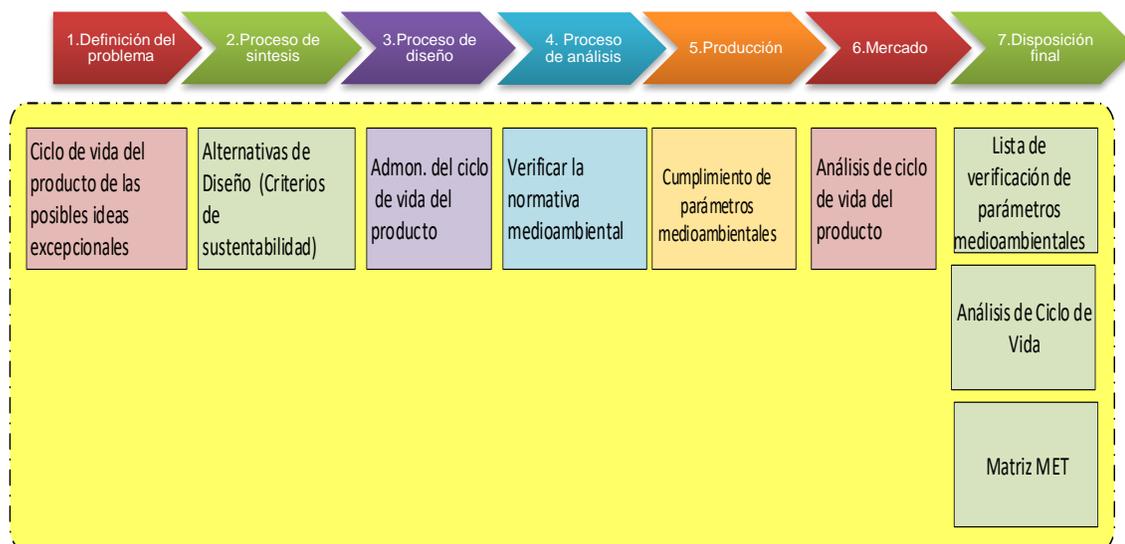


Figura 2: Aspectos relacionados al Ecodiseño durante cada una de las fases de diseño de un producto químico.

## CONCLUSIONES

En este artículo se presentó la metodología durante el diseño de productos químicos en donde se incorporan elementos de Ecodiseño, enfocada a obtener la mayor rentabilidad del mismo, al costo más bajo posible sin sacrificar aspectos como son calidad del producto, que cumplan con las leyes y normas vigentes que garanticen el compromiso social, seguridad y protección de la sociedad. Cumpliendo además con la selección de aquellos diseños que estén optimizados y que cumplan con todos los aspectos medio ambientales. Por lo tanto, es evidente la necesidad de incorporar elementos del Ecodiseño como criterios de sustentabilidad, análisis del ciclo de vida del producto y matriz MET, para seleccionar aquellos diseños que tengan una congruencia entre el desarrollo tecnológico de la sociedad y el equilibrio medio ambiental que debe de sustentarse en cualquier proceso químico.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. MODY, D., & STRONG, D. S. (2011). An Overview of Chemical Process Design Engineering. Proceedings of the Canadian Engineering Education Association.
2. RUDD, D. F., POWERS, G. J., & SIROLA, J. J. (1973). Process synthesis. Prentice-Hall.
3. SEIDER, W. D., SEADER, J. D., & LEWIN, D. R. (2009). Product & process design principles: synthesis, analysis and evaluation. John Wiley & Sons.
4. Alcalá, J. M. F. (2007). ECODISEÑO: Integración de criterios ambientales en la sistemática del diseño de productos industriales. *Dyna*, 82(7), 351-360.
5. Cebrián Tarrasón, D., Garraín Cordero, D., Vidal, R., París, A., & Abad Kelly, J. (2009). ACV libre: la Utilización del ELCD en la Fase de Diseño.

6. Moreno, I. C. E., Rendón, O. H. P., & Valencia, J. B. (2017). ECODISEÑO Y DESARROLLO DE PRODUCTOS. *Revista de Investigación en Ciencias de la Administración*, 1(1), 59-71.

### 2.4.3 Hacia la práctica del diseño simbiótico: una propuesta eco-pedagógica.

#### David Sánchez Ruano

Doctor en Diseño por la Universidad de Dundee (Escocia), Maestro en Diseño Industrial por la UNAM, Especialista en Ecotecnologías y Biomímesis. Profesor visitante del Schumacher College (Inglaterra) en el MA Ecological Design Thinking. Actualmente profesor investigador en la Escuela de Arquitectura, Arte y Diseño del Tecnológico de Monterrey campus Guadalajara (México).

**Dirección:** Escuela de Arquitectura, Arte y Diseño. Av. Gral. Ramón Corona # 2514 – Col. Nuevo México Zapopan, Jalisco, CP 45138 Tel: +524491649243

**Email:** david.sanchezr@itesm.mx

### RESUMEN

En el siglo XXI continuamos buscando las condiciones idóneas para generar un balance sostenible en nuestra biosfera. Muchas de las acciones significativas yacen en la educación relacionada con el diseño y la ecología. La propuesta eco-pedagógica aquí planteada, integra el pensamiento de diseño ecológico constituyendo tres aspectos fundamentales: *reconectar* con la naturaleza a través de prácticas de sensibilización relacionadas con la biofilia, *redescubrir* a la naturaleza a través de las herramientas de la biomímesis y el *reflexionar* sobre posibles escenarios futuros a través de una noción de resiliencia. Esta Práctica de Diseño Simbiótico brinda un marco metodológico integral flexible para configurar elementos de la enseñanza-aprendizaje del ecodiseño y otras áreas relativas con enfoques sostenibles generando un diseñar consciente de la mano de la naturaleza.

#### PALABRAS CLAVE:

ecopedagogía, simbiosis, biomímesis, resiliencia, biofilia

#### INTRODUCCIÓN

Como especie humana nos hemos acostumbrado a ciertos hábitos que fragmentan nuestra relación con aquello que llamamos 'medio ambiente'. Existen conductas que continúan creando un desajuste en el clima global, la demografía y la biodiversidad, por mencionar algunos. Tales conductas yacen en la percepción diversificada de la idea de *naturaleza* por la sociedad, y por ende, en la falta de educación para reconocer sus patrones cíclicos, estéticos y dinámicas ecosistémicas que nos rigen como seres vivos. El sistema económico que hemos construido es también una conducta que en los últimos años nos ha llevado incorporar no solo un consumo desmedido, sino una creatividad desmesurada que sin principios ecológicos trasmite mensajes, productos, servicios, sistemas de organización e infraestructuras que dañan indirectamente nuestro verdadero rol en la trama de la vida.

Sin embargo, la educación y el quehacer del diseño ecológico son factores fundamentales para crear un cambio en la compleja conducta humana. Hoy gracias al pensamiento ecológico, comienzan a gestarse nuevos movimientos que hablan sobre el 'decrecimiento' (Weiss & Cattaneo, 2017), la 'economía circular' (Webster, 2015), 'eco-lingüística' (Stibbe, 2015) y el 'aprender de la naturaleza' (Sagarin, 2012), ejemplos vívidos de un esfuerzo colectivo para proyectar una conducta virtuosa que reconecta al humano con su creatividad original y su 'consciencia simbiótica' (Kelly, 2014) con la red

de la vida. Estas manifestaciones sociales requieren del establecimiento de metodologías que integren principios ecológicos que vayan más allá de la resolución del aspecto físico tecnológico, si no que proyecten una acción organizacional, experiencial y conductual. Es por ello que el Proceso de Diseño Simbiótico aquí propuesto, es una metodología para desarrollar pedagogías ecológicas, que ayuden a promover el aprender con una asociación cercana con el mundo natural y así provocar respuestas innatas y complementarias a nuestra creatividad humana.

### **El problema es centrarnos en el usuario**

Según los investigadores del Schumacher College en Inglaterra el pensamiento de diseño ecológico o *Ecological Design Thinking* es un proceso creativo que integra aspectos ambientales, económicos y sociales (Schumacher College, 2018). Profesores de esta escuela líder subrayan que la mayoría de las escuelas o cursos de diseño siguen una forma tradicional de diseño centrado en el usuario, guiados por las tendencias tecnológicas o siguiendo procesos industriales los cuales replican los mismos problemas que tratamos de resolver. Esta y muchas otras escuelas, subrayan que hoy se requiere transmitir a estudiantes y practicantes de diseño no solo el proceso de diseño, sino un pensamiento sistémico en donde se pueda resolver de manera integral aspectos tangibles e intangibles centradas en las dinámicas ecosistémicas de nuestro planeta.

### **La búsqueda de una renovación pedagógica**

Así como se sigue buscando una consolidación en la filosofía diseño ecológico, también se sigue buscando una consolidación en la pedagogía de índole ecológico, o ecopedagogía (Kahn, 2010). Esta propuesta busca utilizar la estructura del proceso de diseño y los preceptos de la ecopedagogía contemporánea. La idea de la ecología profunda (Naess, 2010), la Teoría Integral (Wilber, 2008) y la hipótesis de la biofilia (Kellert, 2012) permiten fundamentar la acción de la disciplina del ecodiseño a través de sus principio y la implementación en procesos experimentales como el Proceso de Diseño Simbiótico como describe en las siguientes secciones.

Las propuestas ecopedagógicas buscan hoy formar competencias como por ejemplo, reducir el cambio climático, crear soluciones agroecológicas, integración de las ciencias y artes, aprendizaje transformativo, cambio de comportamiento organizacional, empoderamiento comunitario, y muchos otros proyectos que implican una reconsideración de un pensamiento crítico-ecológico, que permita acciones con efecto positivo para nuestro planeta.

### **Una propuesta integral: reconectar, redescubrir y reflexionar**

Existen principios, métricas y herramientas que conforman la pedagogía del ecodiseño. La propuesta aquí presentada llamada Practica de Diseño Simbiótico puede ser considerada como una ecopedagogía, la cual integra el proceso de diseño en tres pasos: reconectar, redescubrir y reflexionar a través de tres conceptos que el ecodiseño ha venido adquiriendo y conformando a través de la última década: La biofilia, la biomimesis y la resiliencia.

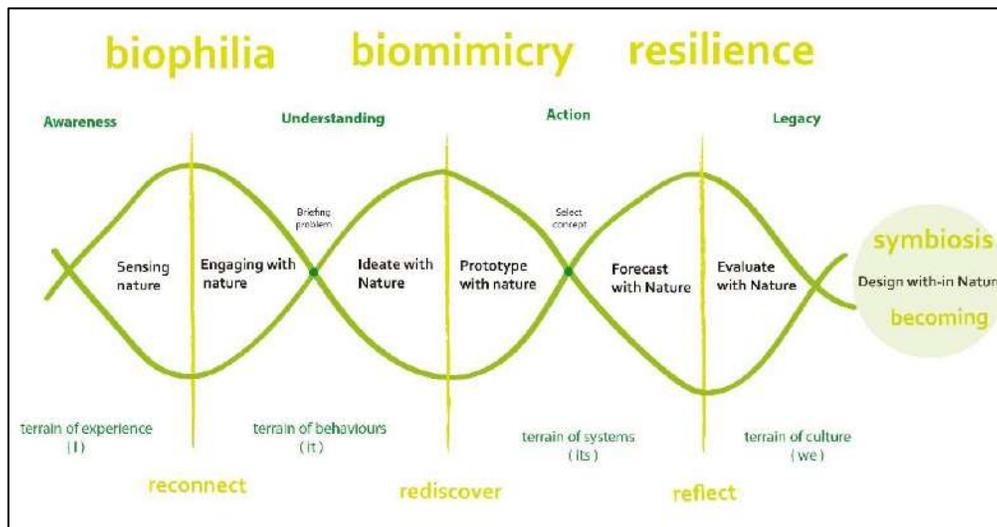
Estos conceptos fueron estudiados en lo que fue el *Centre for the Study of Natural Design* en la Universidad de Dundee, en Escocia. En este centro hoy disuelto y que albergó estudios de posgrado por más de 12 años, represento una influencia en la continuación del pensamiento de diseño ecológico y hoy sus graduados dispersos alrededor del mundo y en diversas escuelas los siguen promoviendo y estudiando.

Gracias al estudio doctoral realizado en este centro y haciendo una implementación en programas de licenciatura y maestría se pudo confirmar que, por medio de la unión del proceso de diseño, la ecología y la educación, se pueden conformar estrategias de enseñanza aprendizaje para implementar en programas educativos.

El *reconectar* con la naturaleza, comprende estudiar el origen de la biofilia como estrategia inicial o preparatoria. Dentro de esta fase se pueden conformar ejercicios de sensibilización como la observación goetheana (Irwin, s. f.), ecosomática (Enghauser, 2007), meditaciones y visitas a espacios donde la naturaleza es más íntegra. Con esta fase se activa la curiosidad y una lente naturalista que permite involucrarnos en el significado de ser naturaleza, somos conscientes de ella y la entendemos.

El *redescubrir* a la naturaleza es cuando los detalles comienzan a emerger sus patrones, ritmos, formas, acciones ecosistémicas nos dictan un lenguaje verdadero. Aquí la biomímesis, permite ir más allá de su estética, sino una funcionalidad y eficiencia en resolver problemas humanos y buscar la creatividad para crear condiciones conductivas a la vida. Es un imitar consciente de los genios que se encuentran en todos los reinos de la vida, para consultarlos e implementar así conceptos de diseño. Este imitar se da a través de diversas herramientas como el biomimicry thinking (Baumeister, 2013), biotriz (Vincent, Bogatyreva, Bogatyrev, Bowyer, & Pahl, 2006), proceso de biodiseño (Égido, 2004), entre otras.

Un tercer paso, permite *reflexionar* será el impacto de nuestra creación o estrategia, la resiliencia como práctica, ayuda a pronosticar y evaluar que efecto tendrán nuestras propuestas de diseño en el mundo, adquiriendo un ética ecológica verdadera para proyectar un legado significativo. En esta última fase se pueden implementar herramientas de prospectiva () y evaluación reflexiva que permitan capturar una crítica hacia acciones que abran una brecha a una conciencia simbiótica. Todo esto se concluye en la realización de un diseñar centrado en la naturaleza, un diseñar como la naturaleza de la que somos parte (Ver Figura 1).



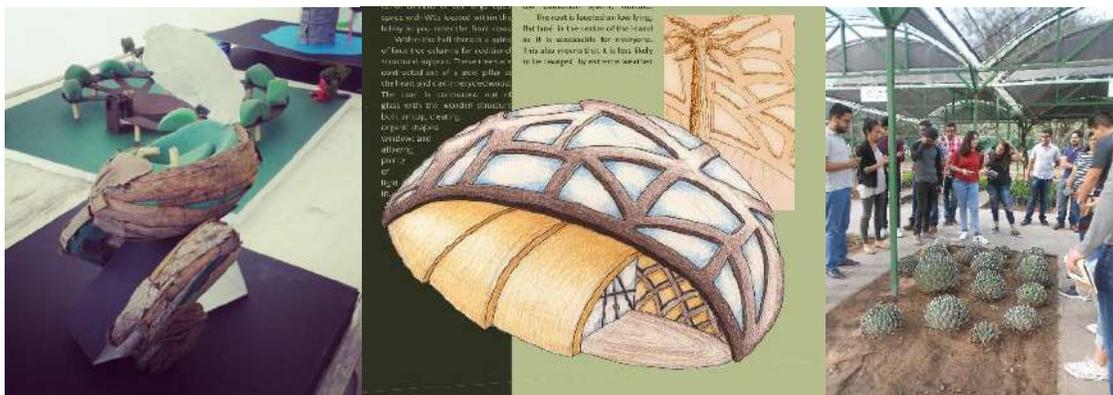
**Figura 1: Práctica de Diseño Simbiótico (Versión en Inglés). Sánchez Ruano (2016)**

Esta filosofía antes descrita, fue consolidada a través del formato del Design Thinking Process del DSchool Stanford (Curedale, 2013) y el Doble Diamond Process (Design Council, 2015) en donde diverge y converge el pensamiento de diseño ecológico a través de aquellas técnicas, ejercicios y textos propiamente probados y analizados por expertos y docentes conformando una meta-metodología. Estos instrumentos fueron probados por alumnos de licenciatura y posgrado los cuales realizaron proyectos de diseño de diversa índole.

### La trascendencia de una ecosofía hacia el ecodiseñar

Esta propuesta ecopedagógica fue probada a través de tres años de estudios doctorales donde se conformó la serie de prácticas, ejercicios y textos interrelacionando estas seis fases que conforman aspectos filosóficos y prácticos relacionados con el ecodiseño. El resultado son diseños propiamente evaluados con los principios que rigen la vida y concluyendo en una simbiosis entre intelecto humano e intelecto de aquellas especies con las que co-habitamos.

A través de encuestas, observaciones y presentaciones en diversos foros se probó y se expuso el PDS. El método se ha integrado en módulos de enseñanza a nivel posgrado y licenciatura con buenos resultados para el desarrollo de productos y servicio (ver Figura 2).



**Figura 2. De izquierda a derecha. Vehículo para terrenos pantanosos, Universidad Autónoma de Aguascalientes. Centro de educación basado en el crecimiento de plantas, University of Dundee. Taller de Biomímesis Semana i. Tecnológico de Monterrey)**

### CONCLUSIÓN

Así la ecosofía planteada se alcanza concluyendo en un diseño integral que reafirma la simbiosis: ser y crear junto como naturaleza. La siguiente etapa es poner en práctica a temprana edad el PDS, a nivel primaria y secundaria, así como generar una guía más resumida del PSD para docentes de diseño y otra para estrategias de negocios sostenibles. Una de las recomendaciones es que los lectores de este artículo reflexionen en aquellos textos, ejercicios o prácticas que consideren como generadores de pensamiento ecológico al utilizarlo en sus cursos o talleres, y agruparlos en las fases del PDS. Esto denota que es una herramienta flexible y que el reconectar, redescubrir y reflexionar junto con la naturaleza son pasos que permiten la proyección y efecto del ecodiseño en la sociedad.

### REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. BAUMEISTER, D. (2013). Biomimicry Resource Handbook: A seed back of best practices. Biomimicry 3.8. Missoula. MT. Recuperado de <http://biomimicry.net/educating/professional-training/resource-handbook/>
2. CUREDALE, R. (2013). Design thinking: process and methods manual. Topanga, CA: Design Community College Inc.
3. DESIGN COUNCIL. (2015). The Design Process: What is the Double Diamond? Recuperado 13 de julio de 2015, de <http://www.designcouncil.org.uk/news-opinion/design-process-what-double-diamond>
4. ÈGIDO VILLARREAL, J. (2004). Biodiseño: biología y diseño industrial.
5. ENGHAEUSER, R. (2007). The Quest for an Ecosomatic Approach to Dance Pedagogy. *Journal of Dance Education*, 7(3), 80-90. <https://doi.org/10.1080/15290824.2007.10387342>
6. IRWIN, T. (2004). Goethean Science: The Dynamical View of Natural Form. Recuperado 3 de julio de 2014, de [https://www.academia.edu/4655810/Goethean\\_Science\\_The\\_Dynamical\\_View\\_of\\_Natural\\_Form](https://www.academia.edu/4655810/Goethean_Science_The_Dynamical_View_of_Natural_Form)
7. KAHN, R. V. (2010). Critical pedagogy, ecoliteracy, & planetary crisis: the ecopedagogy movement. New York: Peter Lang.
8. KELLERT, S. (2012). Birthright: People and Nature in the Modern. Yale University Press.
9. KELLY, K. (2014). Symbiotic Consciousness: how our last common ancestors still influence life today and help to co-create our evolutionary path towards the future. Schumacher College/University of Plymouth, MSc Holistic Science.
10. NAESS, A. (2010). The Ecology of Wisdom: Writings by Arne Naess. Counterpoint.
11. SAGARIN, R. (2012). Learning From the Octopus: How Secrets from Nature Can Help Us Fight Terrorist Attacks, Natural Disasters, and Disease (1 edition). New York: Basic Books.
12. SCHUMACHER COLLEGE (2018). MA Ecological Design Thinking [Text]. Recuperado 30 de mayo de 2018, de <https://www.schumachercollege.org.uk/courses/postgraduate-courses/ecological-design-thinking>
13. STIBBE, A. (2015). Ecolinguistics: Language, Ecology and the Stories We Live (1 edition). London: Routledge.
14. VINCENT, J. F. V., BOGATYREVA, O. A., BOGATYREV, N. R., BOWYER, A., & PAHL, A.-K. (2006). Biomimetics: Its Practice and Theory. *Journal of The Royal Society Interface*, 3(9), 471-482. <https://doi.org/10.1098/rsif.2006.0127>
15. WEBSTER, K. (2015). The Circular Economy: A Wealth of Flows. Ellen MacArthur Foundation Publishing.
16. WEISS, M., & CATTANEO, C. (2017). Degrowth – Taking Stock and Reviewing an Emerging Academic Paradigm. *Ecological Economics*, 137, 220-230. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2017.01.014>
17. WILBER, K. (2008). Collected Works of Ken Wilber: v.7: Brief History of Everything; Eye of the Spirit: Vol 7. Shambhala Publications Inc.

#### **2.4.4 Programa de formación de capacidades (PFC), primer diplomado de Ecodiseño en Chile**

##### **Cecilia Mujica Muñoz**

Diseñadora Industrial, Universidad de Chile (2009). Especialista en Ecodiseño y Gestión de la sostenibilidad en el ámbito de la innovación y Diseño con enfoque sistémico. Coordinadora de proyectos en Ecodiseño.cl Ltda., del año 2012 al presente. Docente de la Universidad de Chile.

##### **Alejandro Chacón Aguirre**

Ingeniero Mecánico especializado como Ingeniero de desarrollo de productos. Propulsor del Ecodiseño en Chile. Fundador de Ecodiseño.cl Ltda., empresa especializada en capacitación, asesorías y aplicación de Ecodiseño. Docente de la Universidad de Chile.

##### **Daniella Parodi Miranda**

Diseñadora Industrial, Universidad de Chile. Docente en la carrera de Diseño industrial de la Universidad de Chile. Tutora en Diplomado Ecodiseño para los desafíos de la ley REP. Diseñadora en Ecodiseño.cl Ltda. Ponente en el Segundo Congreso Latinoamericano de Ecodiseño EcodAI 2016, Colombia.

**Dirección:** comandante Soza 9190 – La Cisterna, Santiago - Chile – Tel.: (+56) 988548578

**Email:** cecilia.ecodiseno@gmail.com

#### **RESUMEN**

La entrada en vigencia en Chile de la Ley 20.920, “Ley marco para la Gestión de Residuos, la Responsabilidad Extendida del Productor y Fomento al reciclaje (Ley REP)”, la cual define al Ecodiseño como la principal herramienta para la prevención de los residuos, ha dado contexto y facilitado la vinculación de los sectores público, privado y académico con el fin de instalar las capacidades de Ecodiseño en el país. En este contexto se ha diseñado un método de enseñanza del Ecodiseño que nace de la experiencia de la empresa Ecodiseño.cl Ltda., y el cual ha sido aplicado en el primer diplomado de Ecodiseño de Chile y Latinoamérica con el objetivo de capacitar e instalar las capacidades del Ecodiseño en profesionales que se vinculan al nuevo contexto que pone de manifiesto la Ley REP.

Los principales resultados relacionados al caso de estudio expuesto en el artículo se relacionan al interés suscitado en la convocatoria de un programa de estas características, también al éxito de la transferencia de las competencias en Ecodiseño a personas vinculadas a empresas de productos prioritarios en el contexto de la ley REP, la generación de nuevo material de apoyo para la enseñanza

del Ecodiseño, la continuidad de programas de estas características en distintas regiones del país, la creación de redes y la valoración de la herramienta para la realización de proyectos de Ecodiseño fuera del ámbito académico.

Este Diplomado, pionero en el país y en Latinoamérica, otorga a Chile la posibilidad de incorporar capacidades a nivel nacional para la utilización de metodologías de innovación para la sostenibilidad, como es el Ecodiseño, con un método claro y concreto, para que un grupo amplio de profesionales de distintos sectores pueda ser partícipe y actor del tránsito hacia un nuevo modelo de desarrollo que sea sostenible en el tiempo, mejorando la eficiencia y competitividad de las empresas.

## **PALABRAS CLAVE**

Diplomado, Capacitación, Ecodiseño, Ley REP, Sostenibilidad.

## **INTRODUCCIÓN**

La enseñanza del Ecodiseño en Chile se ha realizado mediante acciones aisladas (cursos de pregrado, talleres a empresas y gobierno), impulsadas principalmente por la consultora en Ecodiseño, Ecodiseño.cl Ltda., empresa pionera en impulsar, difundir y aplicar el Ecodiseño en Chile.

El nuevo contexto normativo ha catalizado la importancia de transferir las competencias del Ecodiseño de manera sistemática en el país. Recientemente se aprobó en Chile la Ley 20.920, “Ley marco para la Gestión de Residuos, la Responsabilidad Extendida del Productor y Fomento al reciclaje (Ley REP)”, la cual obliga a las empresas productoras de ciertos productos definidos como prioritarios (Envases y Embalajes, Neumáticos, Aceites lubricantes, Baterías, Pilas y Aparatos eléctricos y electrónicos), a hacerse cargo de ellos una vez terminada su vida útil. Esta ley, que tiene por objeto la reducción de la generación de residuos por parte de los denominados “productos prioritarios”, define a la Prevención de la generación de residuos como su línea principal de trabajo y entrega una lista de herramientas para su cumplimiento, siendo la primera de ellas el Ecodiseño. Este hecho ha revelado la importancia del Ecodiseño, poniendo de manifiesto las brechas existentes en la temática, dando incluso como resultados la generación de un Plan Nacional de Ecodiseño, actualmente en corrección de texto, post consulta pública.

Actualmente en Chile, gran parte de las empresas productivas no realizan ninguna acción en relación a la gestión de sus residuos post consumo al fin de vida, ni tampoco cuentan con los conocimientos necesarios para dar cumplimiento a esta ley en los aspectos ligados al Ecodiseño y la prevención de residuos. Es por esto que se hace necesario y urgente realizar capacitaciones y formación de competencias que permitan a las empresas enfrentar los nuevos desafíos.

CORFO, Corporación de Fomento de la Producción del gobierno de Chile, financió a través de las becas de Capital Humano el Programa de Formación de Capacidades “Ecodiseño para los desafíos de la Ley REP”, el cual fue desarrollado por el equipo de la empresa Ecodiseño.cl Ltda. y que cuenta con la certificación de “Diplomado” de la Universidad Andrés Bello.

Por lo tanto, se propone un método de enseñanza del Ecodiseño para ser aplicado en el primer diplomado de Ecodiseño de Chile y Latinoamérica.

El programa que consta de 122 horas cronológicas de clases presenciales en las cuales se entregan los contenidos de una manera innovadora y didáctica, propiciando una inmersión gradual en la metodología de Ecodiseño, desde lo teórico a lo práctico.

En la **figura 1** se puede observar un esquema del programa propuesto.



**Figura 1: Programa de actividades primer diplomado de Ecodiseño de Chile y Latinoamérica. Ecodiseño.cl Ltda. (2018)**

El Programa considera capacitación en Ecodiseño y herramientas relacionadas, entre las cuales se encuentran Análisis de Ciclo de Vida, Gestión de Residuos, Innovación para la sostenibilidad, entre otros contenidos afines. El objetivo es integrar conocimientos y experiencia práctica de una manera innovadora y didáctica, para instalar competencias sobre Ecodiseño en profesionales y empresas, orientado a la gestión preventiva en la generación de residuos, en el contexto de la Ley REP.

Desde esta experiencia, se observa el potencial real de replicar el modelo en otras regiones del país, obtener ejemplos prácticos de aplicación con el fin de difundir los beneficios de la metodología, además de la posibilidad de realizar proyectos de Ecodiseño fuera del ámbito académico.

### **OBJETIVO GENERAL**

Desarrollar un método de enseñanza para capacitar e instalar las capacidades de la metodología del Ecodiseño en profesionales que se vinculan al nuevo contexto que pone de manifiesto la Ley 20.920, “Ley marco para la Gestión de Residuos, la Responsabilidad Extendida del Productor y Fomento al reciclaje (Ley REP)”, a través del estudio del caso: Primer Diplomado de Ecodiseño en Chile.

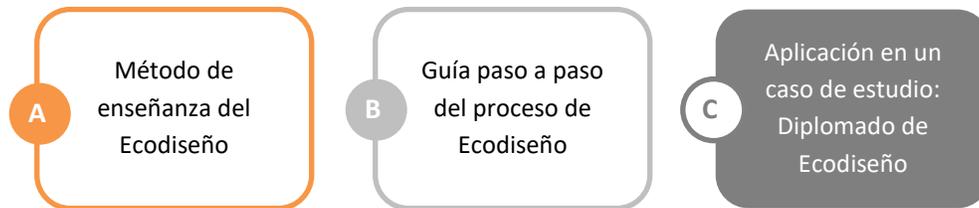
### **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

1. Difundir y comunicar el método de enseñanza del Ecodiseño propuesto.
2. Generar instancias de homologación, comparación y retroalimentación del método propuesto con otras experiencias de enseñanza del Ecodiseño en la región.
3. Analizar los resultados y el alcance de aplicar métodos de esta naturaleza en Latinoamérica a nivel gubernamental, privado y académico.

### **METODOLOGÍA EMPLEADA**

La metodología empleada consta de tres etapas, la primera hace referencia a la generación de un método de enseñanza del Ecodiseño, la segunda hace referencia a la definición de un proceso de Ecodiseño a modo de una guía paso a paso que guía el desarrollo de proyectos de Ecodiseño que tengan cabida en la aplicación del método antes mencionado, esta guía nace de la experiencia de

Ecodiseño.cl Ltda., empresa pionera en impulsar, difundir y aplicar el Ecodiseño en Chile. Finalmente, la tercera etapa es la aplicación de lo antes mencionado en un caso de estudio, este caso es el primer diplomado de Ecodiseño en Chile.



**Figura 2: Esquema Metodología estudio. (2018)**

## DESARROLLO

### A. MÉTODO DE ENSEÑANZA DEL ECODISEÑO

El método de enseñanza del Ecodiseño surge a partir de la postulación a un Programa de Formación de Capacidades (PFC) financiado por CORFO (Corporación de Fomento de la Producción del gobierno de Chile), en el marco del “Programa Estratégico Regional Santiago Ciudad Inteligente”, en su vertical de Medio Ambiente, que financió a través de las becas Capital Humano el Programa de “Ecodiseño para los desafíos de la Ley REP”, el cual fue desarrollado e implementado entre la empresa Ecodiseño.cl Ltda. y la Universidad Andrés Bello.

El método propone una fusión de modalidades con el propósito de entregar los contenidos de una manera innovadora y didáctica, propiciando una inmersión gradual en la metodología de Ecodiseño, partiendo desde lo teórico para llegar a lo práctico.

El programa consta de 122 horas totales, las cuales son distribuidas como se presenta en la **figura 3**:



**Figura 3: Metodología Diplomado de Ecodiseño para los desafíos de la Ley REP.**

Los módulos propuestos para dar curso al método son: seminario inicial, clases teóricas, experiencia de inmersión en Ecodiseño, taller práctico y seminario final.

Los **seminarios** tienen como finalidad ampliar la difusión de la metodología y el alcance que puede tener para empresas, consumidores, gobierno y comunidades el transferir las competencias del Ecodiseño y aplicarlo.

Las **clases teóricas** son una serie de módulos que introducen al alumno en la comprensión del contexto y herramientas afines al ecodiseño. Las temáticas abordadas en estos módulos de capacitación son:

1. Vinculación del Ecodiseño con la Ley 20.920, “Ley marco para la Gestión de Residuos, la Responsabilidad Extendida del Productor y Fomento al reciclaje (Ley REP)” como herramienta de prevención de residuos.
2. Prevención y valorización de residuos.
3. Economía de los Materiales y Economía Circular.
4. Análisis de Ciclo de vida para el Ecodiseño.
5. Innovación para la Sostenibilidad.
6. Proceso metodológico para la elaboración de un proyecto de Ecodiseño.

La **experiencia de inmersión en Ecodiseño** es una actividad de carácter eminentemente práctico y de aprendizaje intensivo tipo bootcamp, en el cual los alumnos deben realizar un ejercicio comparativo, analizando productos genéricos del mercado para comparar los resultados de una problemática abordada desde la gestión de residuos tradicional versus la aplicación de la metodología de ecodiseño, de manera que puedan visualizar las ventajas comparativas. Este módulo contempla hacer un recorrido por el proceso de Ecodiseño de manera intensiva y didáctica, entregando la primera experiencia de aplicación de la metodología.

El **taller práctico** consiste en una serie de clases en modalidad workshop que, a través de ejercicios didácticos, guían el desarrollo de un proyecto de Ecodiseño en productos o servicios relacionados a las empresas vinculadas a los participantes. Los proyectos son guiados por un equipo experto interdisciplinario, compuesto por ingenieros y diseñadores.

A partir de este método, se busca que los alumnos logren comprender e interiorizar los conceptos fundamentales y como se vinculan con el nuevo contexto normativo del país relacionados a la Ley REP, luego en una segunda fase puedan aplicar la metodología a productos genéricos, para que finalmente la puedan aplicar en sus propios productos.

Los **objetivos** del método de enseñanza propuesto son:

1. Difundir la metodología del Ecodiseño entre actores relevantes en el contexto del cumplimiento de la Ley REP.
2. Ampliar el alcance del método, mediante la vinculación del sector público, privado y académico.
3. Aplicar el método en proyectos que den solución a problemáticas reales.
4. Desarrollar herramientas específicas para la aplicación del método.
5. Generar redes de contacto para avanzar hacia una aplicación sistemática del Ecodiseño en Chile.

## **B. GUÍA PASO A PASO DEL PROCESO DE ECODISEÑO.**

Con el fin de guiar la realización de los proyectos de Ecodiseño que puedan desarrollarse en el método de enseñanza propuesto, se diseñó una guía paso a paso del proceso de Ecodiseño para marcar el ritmo de avance de los proyectos, además a través de este material los alumnos pueden consultar que se espera de cada fase.

Esta guía nace de la experiencia de Ecodiseño.cl Ltda. ([www.ecodiseño.cl](http://www.ecodiseño.cl)), la cual ha puesto énfasis en la importancia de abordar los proyectos de Ecodiseño desde la innovación y por lo tanto desde las competencias de las industrias creativas, en particular la del Diseño.

Su desarrollo se basa en el proceso de Ecodiseño definido en el punto 6.2 de la norma Nch-ISO 14006. Sistemas de gestión ambiental. Directrices para la incorporación del ecodiseño (INN, 2013) y su relación con el proceso utilizado por Ecodiseño.cl Ltda., en esta relación se definen los elementos básicos a considerar:

- Información ambiental de ciclo de vida.
- Estrategias de mejora coherente con la información ambiental.
- Innovación sistémica, es decir mejoras que impacten en todo el ciclo de vida.
- Medición de resultados.

y se construye una definición:

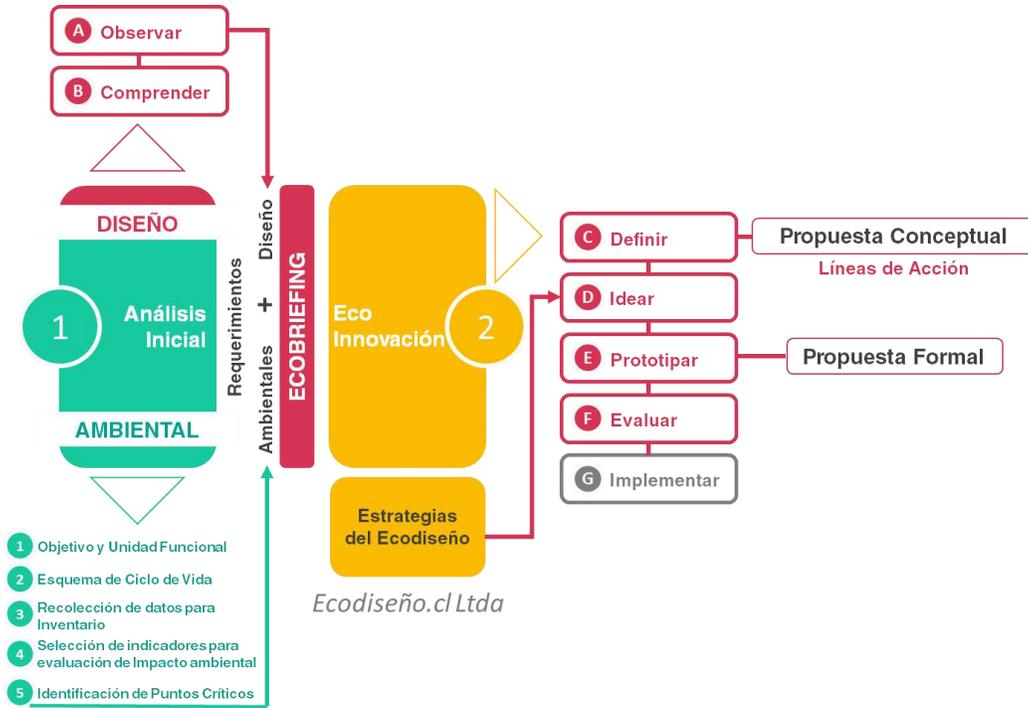
*“El Ecodiseño es una metodología que se basa en la norma ISO 14006, la cual se aplica en la etapa inicial de diseño, minimizando preventivamente el impacto ambiental de productos y servicios en todo el ciclo de vida.*

*A través de información ambiental nutre un proceso de innovación sistémica cuyo fin es apuntar hacia el desarrollo sostenible.”* (Ecodiseño.cl Ltda.)

Esta metodología que es el origen del paso a paso se ha denominado: “Metodología Ecodiseño CL”, cuyo esquema metodológico general lo podemos observar en la **figura 4** y **figura 5**.



**Figura 4: Esquema metodología Ecodiseño CL resumen.**



**Figura 5: Esquema metodología Ecodiseño CL extendido.**

A partir de esto se desarrolló una infografía que guía el proceso de un proyecto de Ecodiseño en pasos bien definidos y que se complementan con actividades diseñadas especialmente para algunos de estos pasos y que promueven el enfoque sistémico en las propuestas que se desarrollan bajo esta metodología. La infografía del paso a paso se puede observar en la **figura 6**.

# Guía para hacer un proyecto de Ecodiseño

Paso a Paso \_ Producto



Figura 6: Infografía de la guía del paso a paso del proceso de la metodología de Ecodiseño CL.

### C. APLICACIÓN EN UN CASO DE ESTUDIO: DIPLOMADO DE ECODISEÑO

El método antes mencionado y la guía paso a paso para guiar un proyecto de Ecodiseño ha sido aplicada en el primer diplomado de Ecodiseño de Chile y Latinoamérica, el cual es presentado como el primer caso de estudio.

El 26 de diciembre de 2017 se da inicio a la etapa de difusión del diplomado, etapa que se extendió hasta el 26 de enero del 2018.

Las clases iniciaron el 23 de marzo del 2018 con 85 inscritos al programa, y se realizaron en 6 módulos según los contenidos propuestos.

El día 3 de abril se realizó el seminario inicial con la presencia de expertos nacionales e internacionales, además de autoridades de gobierno.

La experiencia en inmersión del Ecodiseño se realizó los días 8 y 9 de junio, en esta actividad fue la primera instancia de aplicación de la guía paso a paso del proceso.

Actualmente se está realizando el taller práctico, en el cual se conformaron 16 proyectos en proceso de realización, dentro de estas jornadas se contempla la participación de un experto internacional.

El 14 de diciembre se llevará a cabo el seminario final, en el cual se presentarán y evaluarán los resultados obtenidos.

En la **figura 7** se presenta una selección de imágenes de las actividades realizadas en el contexto del primer diplomado de Ecodiseño en Chile y Latinoamérica.





**Figura 7: Selección de fotografías del Primer Diplomado de Ecodiseño en Chile y Latinoamérica. Ecodiseño.cl.**

## **RESULTADOS OBTENIDOS**

Considerando el caso de estudio en el cual se ha aplicado el método de enseñanza de Ecodiseño, como medio para evaluar los resultados, y teniendo en cuenta que aún está en curso, los principales resultados obtenidos hasta el momento son los siguientes:

- La convocatoria al diplomado tuvo un gran éxito, ya que para los 80 cupos disponibles se inscribieron más de 700 interesados y terminaron todo el proceso de postulación 329 profesionales, siendo unos de los PFC con mayor convocatoria de CORFO, lo que revela el interés de la ciudadanía por el Ecodiseño en el país. Se cree que esto se debe a la incorporación del Ecodiseño en un marco legislativo (como la principal herramienta para la prevención de residuos en el contexto de la ley REP).
- Actualmente el diplomado está siendo cursado por profesionales, quienes ya han adquirido los conocimientos teóricos y la práctica en productos genéricos y propios con buenos porcentajes de asistencia y calificaciones, así como con una excelente aplicación de la metodología en productos genéricos y propios.
- Para el desarrollo del diplomado se ha generado una nueva propuesta de material de apoyo para el aprendizaje del Ecodiseño, afinando la metodología y mejorando las herramientas complementarias.
- Los resultados obtenidos hasta el momento han suscitado gran interés desde distintos sectores, viéndose reflejado en la abertura de nuevas líneas de financiamientos para Programas de Formación de Capacidades en Ecodiseño (PFC) en la región metropolitana y otras regiones del país.
- Creación de redes multidisciplinarias, que se han dado naturalmente por el grupo de alumnos heterogéneo y de gran calidad que asiste al diplomado.
- Valoración de la metodología como herramienta de eficiencia y diferenciación por las empresas vinculadas a través de los alumnos que participan del diplomado, esto se puede observar a través de la concreción de reuniones de los expertos en Ecodiseño con estas empresas con el fin de desarrollar proyectos de Ecodiseño.

## **DISCUSIÓN DE RESULTADOS**

En relación al objetivo general planteado: Desarrollar un método de enseñanza para capacitar e instalar las capacidades de la metodología del Ecodiseño en profesionales que se vinculan al nuevo contexto que pone de manifiesto la Ley 20.920, “Ley marco para la Gestión de Residuos, la Responsabilidad Extendida del Productor y Fomento al reciclaje (Ley REP)”, a través del estudio del caso: Primer Diplomado de Ecodiseño en Chile. Podemos afirmar que se ha cumplido, a la vez que ha abierto nuevas oportunidades para la difusión, valoración e implementación del Ecodiseño en el país.

Por otro lado, al no existir otras instancias de formación en Ecodiseño en Chile, faltan experiencias en el país que permitan retroalimentar los procesos propuestos.

También es pertinente destacar que este método nace a partir de un recorrido y trabajo previo de enseñanzas del Ecodiseño realizada por Ecodiseño.cl Ltda, como son cursos de formación de pregrado, talleres a empresas y gobierno, y la creación del E3 (Experiencia Ecodiseño EcodAI), que ha sido aplicado tanto en EcodAI 2014, como en la semana del Ecodiseño Chile 2015.

El método propuesto ha sido validado por actores relevantes del Ecodiseño de Latinoamérica y Europa y ha sido mejorado desde la experiencia de aplicarlo.

En relación al caso de estudio, los resultados obtenidos muestran un alto nivel de convocatoria y rendimiento frente a otras experiencias de diplomados en Chile. Se espera el término del diplomado para evaluar la aplicación del Ecodiseño en productos reales del mercado chileno, por parte de los estudiantes y de las empresas en que ellos se desempeñan.

## **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

El modelo desarrollado por Ecodiseño.cl Ltda. e implementado en conjunto con el sector académico (con el financiamiento de CORFO), se puede replicar a través del tiempo y en otras regiones, ya que transferir las competencias del Ecodiseño, es una necesidad presente en todo el país, la apertura de nuevos Programas de Formación de Capacidades en Ecodiseño ha dejado en evidencia que así es y que ya está sucediendo.

Se recomienda para nuevas versiones que las clases teóricas evolucionen a un modelo Teórico - Práctico, alternando la entrega de contenido a modo de cátedra y la aplicación de ellos a través de ejercicios guiados.

También se recomienda avanzar en la creación de un repositorio de proyectos de ecodiseño que surjan de instancias como las del caso de estudio, con el fin de reunir ejemplos que puedan difundir los beneficios de aplicar la metodología.

Finalmente se recomienda considerar una etapa de evaluación y análisis de los alcances fuera del ámbito académico que la aplicación del modelo puede generar.

## **REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

1. Ley N°20.920. (2016). Ley Marco para la Gestión de residuos, la Responsabilidad extendida del productor y fomento al reciclaje.
2. Nch-ISO 14006 (2013). Sistemas de gestión ambiental. Directrices para la incorporación del ecodiseño.
3. ECOEMBES&IHOBÉ. (2017). Guía de ecodiseño de envases y embalajes. Bilbao.
4. <http://www.ihobe.eus/ecodiseno>
5. <https://www.circulardesignguide.com/>
6. [www.ecodiseño.cl](http://www.ecodiseño.cl)

#### **2.4.5 Tendencia del eco-diseño en trabajos de grado.**

Sandra Forero Salazar

Diseñadora Industrial, Diplomada en comportamiento del consumidor, Especialista en Gestión de Proyectos y Magister en Educación, Docente del área investigativa en el programa de Diseño Industrial de la Universidad de Pamplona – Colombia, directora del grupo de Investigación PUNTO.

Carlos Manuel Luna Maldonado

Diseñador Industrial y Técnico Profesional en Electromedicina; Especialista en Pedagogía Universitaria; Magister en Desarrollo Sustentable. Profesor / Investigador Asociado del Programa de Diseño Industrial de la Universidad de Pamplona – Colombia.

Dirección (Autor 1): Calle 6ª A No. 7-19 Pamplona - Norte de Santander - Colombia. Código postal 543050 – Tel: +57 3168309741

Email (Autor 1): sforero@unipamplona.edu.co

#### **RESUMEN**

El presente trabajo evidencia la tendencia de las estrategias de las tres R (re-uso, reciclaje y reducción en la fuente) al interior de los trabajos de grado presentados por los estudiantes del programa de Diseño Industrial de la Universidad de Pamplona – Colombia. Tendencia que se presume puede estar alimentada por la existencia de una línea de profundización profesional dentro del plan de estudios que se enfoca en el Eco-diseño y sus estrategias.

A continuación, se exponen las principales áreas de intervención y su relación con el entorno socio – cultural en el que se desarrollan, así como las características más sobresalientes de las estrategias implementadas.

También se evidencia la caracterización de las problemáticas tradicionales de las empresas de la región las cuales abren la puerta para intervenciones futuras desde el enfoque de sustentabilidad.

La investigación se basa en la revisión de una base documental de 134 trabajos de grado desarrollados durante el periodo comprendido entre 2012 y 2017.

#### **PALABRAS CLAVE**

Estrategias de eco-diseño, Educación, Proyectos aplicados, Nuevos materiales, Re-uso, Reciclaje, Reducción en la fuente.

#### **INTRODUCCIÓN**

Aun cuando el principal objetivo de la investigación en desarrollo es identificar proyectos con resultados susceptibles de ser patentados, registrados o publicados, el avance actual de la investigación permitió identificar un aspecto no previsto en los objetivos del proyecto.

Dada la metodología documental y la categorización de los proyectos, se identificaron tendencias de desarrollo en los trabajos enfocados a proponer soluciones a las problemáticas presentadas al interior de las empresas en torno al manejo de sus residuos y retales dando como primer resultado un porcentaje significativo de trabajos enfocados en este tipo de situaciones.

Para entender el contexto del proyecto se necesita exponer como referente que los estudiantes del programa de Diseño Industrial de la Universidad de Pamplona, para obtener su título profesional deben presentar y desarrollar un proyecto final que no tiene ninguna limitante respecto a la elección o delimitación del tema, dada la diversidad y amplitud de las áreas de intervención de la profesión, se da libertad para que cada estudiante proponga un proyecto con énfasis en sus intereses particulares, razón por la cual es significativo el resultado encontrado.

Por otra parte, los estudiantes durante el último ciclo de su carrera, tienen opción de cursar una electiva profesional que se desarrolla durante tres semestres, entre ellas está la de Ecodiseño, asignaturas en las que según el plan de estudios se reconoce la importancia del tema, ofreciendo al estudiante conocimientos básicos sobre metodologías y herramientas que le permitan proponer soluciones más amigables con el medio ambiente y también propiciar la reflexión a través de espacios de debate donde “no solo se acepte el conocimiento disponible, sino que se construya y adapte teniendo en cuenta las características que ofrecen las distintas regiones y empresas de Colombia” (D.I. Unipamplona. 2018).

Por ende, se definen los objetivos de estos espacios como:

Eco-diseño I:

Proporcionar al estudiante las bases conceptuales y fundamentos que relacionan al Eco-diseño como respuesta a unas dinámicas ambientales, socioculturales y económicas contemporáneas.

Eco-diseño II:

Concienciar al estudiante del impacto generado por los procesos de manufactura de los productos y el alcance de la cadena de producción.

Establecer estrategias de mejoramiento continuo del proceso de diseño con el fin de controlar el impacto ambiental generado por el producto.

Elaborar una estructura de análisis del alcance de la cadena de producción de los productos planteando herramientas de aprovechamiento de recursos a lo largo del ciclo de vida del producto.

Y en Eco-diseño III, se plantea que, bajo el enfoque de sustentabilidad, el estudiante culmine con la implementación de lo aprendido en organizaciones productivas. Fortaleciendo el conocimiento operativo para la proposición de soluciones con ciclos de vida responsables con el objetivo de reducir el impacto ambiental.

De manera complementaria, en clases compartidas con otros profesionales principalmente ingenieros, los estudiantes de Diseño aprenden sobre legislación y política ambiental, gestión ambiental y estudio de impacto ambiental.

En relación con lo anterior, al encontrar en los resultados de la clasificación inicial por temas de los trabajos presentados como opción de grado un porcentaje significativo de soluciones a problemáticas medio ambientales genera un cuestionamiento en torno a sí este tipo de enfoque,

particular del programa de la Universidad de Pamplona, estará contribuyendo a la formación de estudiantes con un nivel de consciencia social y responsabilidad medio ambiental significativa.

## **PLANTEAMIENTO Y AVANCES:**

Partiendo del planteamiento de Eco – Diseño (Ecodesign o Design for the Enviroment) como ámbito donde se “postula como una de las prácticas de ingeniería fundamentales para contribuir al denominado desarrollo sustentable... siendo aquel que satisface las demandas presentes de consumo sin comprometer las demandas futuras” (Capuz & Gómez. 2004) p. 1 el Análisis del Ciclo de Vida aparece como una respuesta, que se implementa a través de estrategias al interior de las empresas que exigen respuestas cada vez más difíciles de tomar dada la necesidad de equilibrar aspectos como calidad y costos.

En ese orden de ideas, el A.C.V. permite a los profesionales predeterminar características de los productos y servicios para mejorar aspectos referentes a su posibilidad de fabricación, adecuación al uso, fiabilidad, calidad, reciclado o reaprovechamiento (energético o de otro tipo) entre otros aspectos.

De igual manera como lo plantean Rieradevall & Vinyets (1999), las acciones para contrarrestar los impactos negativos generados del consumo masivo son cada vez más evidentes; aun cuando sigan siendo insuficientes, deben seguir siendo respaldadas y divulgadas para fortalecer no solo las mismas acciones sino la sensibilización y posterior toma de consciencia del papel de cada actor en el planeta.

Entre estas acciones se destacan las que abordan áreas de tratamiento y finalización del proceso destacándose las estrategias de reciclaje y reutilización (Rieradevall & Vinyets. 1999) p13:

A consecuencia de las acciones administrativas, como la aplicación de políticas de fomento a la reducción de emisiones, el sector público ha optado por cambios estructurales en la producción industrial (el reciclaje y la utilización de combustibles limpios, entre ellos) obteniéndose unos avances muy significativos.

El proceso hacia actuaciones más sostenibles se ha manifestado, por ejemplo, con la incorporación, por parte de las empresas, de nuevas ideas en la definición de su política empresarial, como el bienestar de los consumidores, la reducción del consumo de materias primas, el ahorro de energía en los procesos de producción o la reducción, el reciclaje y la reutilización de los residuos. El objetivo de tales mejoras ambientales en los productos es incorporar nuevos valores compatibles con los límites actuales, con un mayor respeto por el entorno y un mayor beneficio social colectivo.

- Hacer, deshacer, reutilizar
- Consumo justo y responsable

Desde esta perspectiva se puede afirmar que el diseño como profesión ha ido evolucionando hasta plantear la compleja relación de sistema - producto, afirmando que la denominación actual de producto ha modificado e incorporado en su significado aspectos no solo industriales sino culturales, entendiéndolo como “el conjunto de atributos, valores y prestaciones que caracterizan y distinguen a un producto del resto de los que ya existen en el mercado;...Por lo tanto se habla de comunicación, servicio, presentación en el punto de venta, distribución, servicio de post venta y eliminación de toda la cadena de valor” (Rieradevall & Vinyets. 1999) p15.

En este orden de ideas el sistema – producto implica desarrollar estrategias de producción implementadas desde la concepción misma del producto, definiendo aspectos como materiales

seleccionados, aspectos técnicos de la producción, comerciales, de consumo y la posterior eliminación tanto del producto como de los sobrantes del proceso.

Como parte del avance del proyecto se realizó la revisión de 134 trabajos de grado y para la definición de la matriz de clasificación (con el objeto de identificar proyectos patentables) se revisaron diferentes clasificaciones que valoran aspectos como los sectores económicos y áreas más concretas de intervención del Diseño Industrial.

Entre los textos consultados y de los cuáles se extrajo información relevante para la clasificación se encuentran:

- ABC de la propiedad industrial  
Superintendencia de Industria y Comercio.
- Clasificación Internacional Uniforme (CIU) de todas las actividades económicas, revisión 4 adaptada para Colombia.  
Departamento Administrativo Nacional de Estadística DANE
- Clasificación Central de Productos, versión 2 adaptada para Colombia.  
Departamento Administrativo Nacional de Estadística DANE
- Guía para examen de solicitudes de patente de invención y modelo de utilidad.  
Superintendencia de Industria y Comercio.
- Manual sobre el tratado de cooperación en materia de patentes.  
Ministerio de Comercio, Industria y Turismo.
- Clasificación de productos en Mercadotecnia (monografías.com)
- Sectores económicos en Colombia  
Departamento Administrativo Nacional de Estadística DANE
- Clasificación de la Organización Mundial de la Propiedad Intelectual  
OMPI
- Tesoros de clasificación bibliográfica de la UNESCO
- Acuerdo 004 de 2017 de propiedad intelectual Universidad de Pamplona
- BürDek, B.E., Historia, teoría y práctica del diseño. Barcelona, Gustavo Gili, 1994.
- Dorfles, G., El diseño industrial y su estética, Barcelona, Labor, 1973.
- Löbach, B., Diseño industrial. Bases para la configuración de los productos industriales, Barcelona, Gustavo Gili, 1981.
- Manual sobre diseños industriales  
[https://issuu.com/quioscosic/docs/manual\\_dise\\_o\\_indutrial\\_final\\_impr](https://issuu.com/quioscosic/docs/manual_dise_o_indutrial_final_impr)

Si bien es cierto, la revisión bibliográfica es amplia se determinó para efectos de claridad y especificidad, tener en cuenta tres grupos de clasificación:

1. Según la economía clásica, con el fin de determinar a qué sector de la economía apuntan nuestros trabajos de grado.
2. Según tipología temática en diseño, con el fin de determinar el campo particular de incidencia de la propuesta de trabajo de grado.
3. Tipo de protección del resultado del trabajo de grado, con el fin de ver la pertinencia del trámite a realizar para su protección.

### **CLASIFICACIÓN (propuesta)**

1. Según la Economía Clásica:

SECTOR PRIMARIO: se refiere a la producción básica y todo lo que tiene que ver con las actividades del agro.

SECTOR SECUNDARIO: se refiere a la producción de bienes y todo lo que produce la industria, construcción y manufactura.

SECTOR TERCIARIO: se refiere al ofrecimiento de servicios que brinda el comercio, bancos, educación, etc.

2. Según Tipología temática

#### 2.1. BIENES DE EQUIPO

Maquinaria industrial  
Herramientas

#### 2.2. PRODUCTOS PARA USO INDIVIDUAL O PRIVADO

Electrodomésticos  
Útiles del hogar  
Menaje de cocina  
Productos de decoración  
Grifería y sanitarios  
Iluminación  
Aparatos electrónicos  
Audiovisuales  
Aparatos informáticos  
Mobiliario doméstico  
Telefonía  
Productos lúdicos  
Gadgets  
Productos personales  
Equipamiento deportivo  
Accesorios y utensilios para discapacitados  
Accesorios y utensilios infantiles

#### 2.3. PRODUCTOS PARA USO PÚBLICO

Mobiliario urbano  
Mobiliario para espacios públicos  
Mobiliario para bares y cafeterías  
Mobiliario para tiendas y establecimientos comerciales

Mobiliario para salas de reuniones y conferencias  
Mobiliario para espacios escolares y académicos

#### 2.4. PRODUCTOS PARA EL MEDIO PROFESIONAL

Puestos de trabajo (workstations) y entornos de oficina  
Imagen corporativa  
Instrumentos de precisión y laboratorio  
Productos e instrumentos para uso militar

#### 2.5. OTROS ÁMBITOS Y SECTORES

Diseño industrial relacionado con la configuración del espacio  
Habitáculos  
Instalaciones  
Stands para ferias y Salones  
Arquitectura  
Sector transportes  
Transportes para uso individual  
Transportes para uso público  
Embalaje (packaging)  
Productos vinculados al diseño experimental

Con base en esta clasificación se pudieron identificar:

40 trabajos altamente representativos, ubicados principalmente en el sector 2 (SECTOR SECUNDARIO: se refiere a la producción de bienes y todo lo que produce la industria, construcción y manufactura.)

Entre estos se identifican los sectores de:

Trabajos que abordan el desarrollo de nuevos productos a través de la transformación de los residuos generados en el primer proceso de producción de las empresas, entre ellos se identificaron 11 proyectos discriminados de la siguiente manera, 3 de empresas de marroquinería, 2 de residuos agrícolas, 2 de empresas de mobiliario y 4 proyectos de reutilización de desechos de polietileno.

En proporción similar se identificaron 11 trabajos que intervinieron en procesos de agroindustria implementando en sus respuestas enfoques de ciclo de vida, 3 trabajos específicos en el manejo de residuos sólidos de los cuales uno intervino procesos de recolección y los otros dos se enfocaron en sistemas de compostaje, 2 más abordan el tema específico de reciclaje, desde la recolección de los residuos hasta la propuesta final de reutilización del material.

Por otra parte 5 proyectos evidencian el abordaje directo del manejo de energías alternativas como aporte fundamental de las soluciones planteadas, éstos en áreas tan diversas como la cocción de alimentos, el manejo térmico de ambientes y el diseño de vehículos.

Se encuentra 1 trabajo que plantea el desarrollo de un nuevo polímero y otro que estudia el impacto de los empaques biodegradables en Colombia.

Se identificaron 2 proyectos enfocados a la educación relacionada con el eco-diseño y el reciclaje, 2 proyectos con profundización en procesos productivos y mitigación de efectos en la salud y por último 2 proyectos de gestión de diseño al interior de empresas del sector de mobiliario y calzado.

Como conclusión se puede entonces plantear, que existe un interés colectivo al interior del programa de Diseño Industrial de la Universidad de Pamplona por el tema medioambiental y sus implicaciones socio-culturales, el cual debe ser reconocido para fortalecerlo y poder así generar un impacto mayor en las empresas y actividades de la región.

Se presume dada la coherencia entre los contenidos temáticos de las asignaturas y los abordajes temáticos de los trabajos de grado que fueron desarrollados con base en los conocimientos adquiridos al interior de las aulas.

S puede decir que el modelo pedagógico teórico – práctico desarrollado al interior de las asignaturas de profundización profesional (electivas) se ve altamente reflejado en los procesos metodológicos expuestos por los estudiantes en sus proyectos, lo que permitiría definir un modelo más estructurado para futuras réplicas académicas en otros espacios o instituciones.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. **CAPUZ, S & GÓMEZ, T.** Ecodiseño, Ingeniería del ciclo de vida para el desarrollo de productos sostenibles. México. Alfaomega (2004)
2. **RIERADEVALL, J & VINYETS, J.** Ecodiseño y ecoproductos. Barcelona. Rubes editorial (2003)
3. **RAMÍREZ, M.** (2012) Manual sobre diseños industriales. Bogotá: SIC **SUPERINTENDENCIA DE INDUSTRIA Y COMERCIO - SIC** Patente de invención y patente de modelo de utilidad. Bogotá. (2008)
4. **UNIVERSIDAD DE PAMPLONA**, Documento de Conceptualización del programa de Diseño Industrial, Universidad de Pamplona (2008)

### 2.4.6 Procesos de diseño en los proyectos de grado con enfoque de innovación sustentable.

Carlos Manuel Luna Maldonado  
Diseñador Industrial y Técnico Profesional en Electromedicina; Especialista en Pedagogía Universitaria; Magíster en Desarrollo Sustentable. Profesor / Investigador Asociado del Programa de Diseño Industrial de la Universidad de Pamplona – Colombia.

Sandra Forero Salazar  
Diseñadora Industrial, Diplomada en comportamiento del consumidor, Especialista en Gestión de Proyectos y Magister en Educación, Docente del área investigativa en el programa de Diseño Industrial de la Universidad de Pamplona – Colombia, directora del grupo de Investigación PUNTO.

Dirección (Autor 1): Calle 6ª A No. 7-19 Pamplona - Norte de Santander - Colombia. Código postal 543050 – Tel: +57 3152997632

Email (Autor 1): cmluna@unipamplona.edu.co

## RESUMEN

El artículo aquí presentado recoge el proceso que hasta el momento se ha llevado a cabo en el marco del proyecto de investigación “Clasificación y análisis descriptivo de los proyectos de grado del programa de Diseño Industrial de la Universidad de Pamplona susceptibles de publicación o patentada”, que busca categorizar los aportes de los estudiantes no solo a las bases conceptuales del programa sino a los sectores económicos locales, regionales y nacionales y cuyo insumo

principal es el análisis de los trabajos de grado desarrollados al interior del programa de Diseño Industrial de la Universidad de Pamplona.

Luego de recopilar la información entregada por los estudiantes al momento de sustentar su proyecto, se ha realizado un proceso de clasificación teniendo en cuenta parámetros nacionales e internacionales, ofreciendo un panorama que permita tener insumos que ofrezcan una visión holística no solo del buen desarrollo de un proceso de diseño sino de resultados responsables y acordes con la situación de un contexto real.

El proyecto ha arrojado en sus avances una serie de datos que contribuyen al análisis y nuevos enfoques de los trabajos de grado presentados por los estudiantes, con el fin de capitalizar sus potencialidades y así generar cambios que redunden en las buenas prácticas de la disciplina y en el impacto real en la sociedad.

## **PALABRAS CLAVE**

Proceso de Diseño, Metodología, Innovación, Sustentabilidad.

## **INTRODUCCIÓN**

El principal objetivo de este texto es presentar los avances de una investigación desarrollada al interior del programa de Diseño Industrial de la Universidad de Pamplona (Colombia), la cual busca determinar las características más sobresalientes en los procesos y los resultados de los proyectos de grado y su relación con la sustentabilidad y la innovación, y así mismo, identificar cuáles de estos proyectos son susceptibles de ser registrados o patentados.

Nace de la identificación de dos oportunidades: la primera, de carácter académico, relacionada con la búsqueda de visibilidad y divulgación de los resultados de los proyectos adelantados por los estudiantes de último semestre, lo cual permitirá una valoración precisa del aporte del programa académico al desarrollo de la disciplina en el contexto local, regional y nacional. El segundo, de carácter teórico, responde al análisis de la aplicación del soporte conceptual del currículo en los proyectos desarrollados.

El estudio se basa en los trabajos sustentados por los estudiantes del programa entre los años 2011 y 2017, período en el cual, se han tenido egresados.

En la fase inicial de la investigación se tomó como fuente primaria objeto de estudio, la totalidad de trabajos presentados por los estudiantes como requisito para optar su título de Diseñador(a) Industrial, teniendo así una muestra de 125 trabajos. Estos trabajos fueron obtenidos en la base de datos de la Biblioteca de la Universidad de Pamplona.

De igual manera se tuvo en cuenta algunos referentes teóricos en cuanto a clasificación de productos industriales buscando construir una herramienta de análisis crítico para la revisión de cada uno de los trabajos de grado que hacen parte de la muestra.

Estas fuentes y herramientas permitieron, en primer lugar, hacer un diagnóstico efectivo de los trabajos de grado y sus temáticas investigadas, en segundo lugar, a partir de la selección de los documentos oficiales, se pudo contrastar el desarrollo del trabajo estudiantil frente al énfasis ofrecido

por el programa y, en tercer lugar, consolidar una primera selección que permita analizar los procesos de los proyectos de innovación con enfoque sustentable.

## PLANTEAMIENTO

Desde su formulación y puesta en marcha (años 2004-2006), el programa de Diseño Industrial ha basado su estructura curricular en los lineamientos del Desarrollo Sustentable, entendido como aquel concepto que puede reunir y aplicar otros como la “dimensión ambiental”, el “futuro sostenible”, la “educación ambiental”, la “calidad de vida” los cuales son fundamentos de la educación actual del país, según palabras de la Ministra de Ambiente y Desarrollo Sostenible, Doctora Luz Helena Sarmiento (2014):

*“En Colombia estamos avanzando en la incorporación de la dimensión ambiental en todo el sistema educativo colombiano. Es por ello que se promueve la Política Nacional de Educación Ambiental orientada a promover la adquisición de conocimientos, competencias, actitudes y valores necesarios para forjar un futuro sostenible. Con ello, se busca que cada colombiano reconozca la complejidad ambiental de su territorio y sepa valorar y disponer adecuadamente del patrimonio natural y sociocultural del país. Debemos reconocer el papel de la educación ambiental para transformar valores. Nuestro mundo afronta retos decisivos en materia de desarrollo sostenible, en los que el futuro dependerá de nuestra capacidad colectiva de aprender y cambiar. Por eso es necesario dar la máxima prioridad a la educación. Se precisa repensar las relaciones entre economía y ambiente; vale decir, entre utilización de materias primas, producción, crecimiento, consumo, pobreza, equidad y calidad de vida”.*

Basado en lo anterior se puede afirmar que el programa académico cuenta con un enfoque curricular vigente y actual aplicado en el sello particular denominado “Proyectación Ambiental”.

La Proyectación Ambiental reúne de manera práctica y efectiva el concepto de proyecto y su vinculación a la dimensión ambiental, en procesos de enseñanza y aprendizaje apoyados en el desarrollo sustentable.

Bajo este soporte, el programa está estructurado, desde lo local, pero ofreciendo una participación en el contexto global actual; su forma de interrelacionarse con otras profesiones, disciplinas y ciencias, lo vinculan como el gran responsable de los parámetros esenciales que componen el concepto de calidad de vida, ellos son:

- El nivel de vida. En el cual tienen que ver los aspectos económicos. Dando respuestas reales a los cambios. (Respuestas económicamente viables/rentables).
- Las condiciones de vida. En el que están involucradas las relaciones sociales, culturales e institucionales. Promoviendo la organización empresarial. (Respuestas culturalmente responsables).
- El medio de vida. En el que se contempla lo ecológico y la habitabilidad. Incorporando valor agregado. Aprovechando recursos materiales y talento humano. (Respuestas ecológicamente favorables).
- Las relaciones de vida. En el cual están involucrados los aspectos físicos y mentales del ser humano. Agilizando procesos de innovación. Mano de obra altamente creativa. (Respuestas humanamente dignas).
- El sentido de vida. En el cual se contempla la espiritualidad, con alto sentido estético y amor a la vida en sociedad. (Respuestas socialmente convenientes).

- El desarrollo de vida. En cuanto a lo educativo y productivo. Vinculando profesionales con la Industria. Aumentando la competitividad. Reestructurando cadenas productivas. Apoyando el desarrollo científico. (Respuestas tecnológicamente factibles).

- Las normas de vida. En cuanto a lo ético y político. Formando profesionales capaces de asumir los retos con responsabilidad e inteligencia. (Respuestas éticamente legítimas).

La dimensión ambiental, llevada a cabo mediante la Proyección Ambiental, supone para proyectos innovadores, no solo el alto valor de novedad que presenten y la aplicación de las propuestas de valor práctico, estético, simbólico y de cambio, de manera eficiente y eficaz, sino también el compromiso de que los impactos que a todos los niveles que componen el concepto de calidad de vida antes mencionado sean medidos para así poder tener referentes de mejora continua en el desarrollo posterior de los mismos.

Así, el reto de ofrecer respuestas desde el Diseño Industrial a las problemáticas ambientales actuales (entendidas en el sentido amplio de la dimensión ambiental), y medir su impacto innovador, se tiene en cuenta lo siguiente:

- El factor de novedad; entendido como la diferencia en que es abordado el problema y por ende la diferencia en la respuesta ofrecida con respecto a otras ya conocidas.
- La propuesta de valor; entendida como el aporte en el valor práctico (relación física con los seres humanos); valor estético (relación psicológica); valor simbólico (relación psíquica); valor de cambio (relación de intercambio).
- Las implicaciones que la respuesta dada genera en los aspectos económicos, sociales, culturales, ecológicos, de habitabilidad, físicos, mentales, espirituales del ser humano, educativos, productivos, éticos, políticos, todos relacionados en el concepto de calidad de vida.

Teniendo claridad del soporte conceptual del programa, el procedimiento llevado a cabo en el desarrollo de esta investigación una revisión y análisis de trabajos de grado.

Esta acción se realiza en tres pasos:

El primero, consistió en hacer la búsqueda en la base de datos de la biblioteca. Con base en los resultados arrojados por el sistema, se elaboró un listado de 125 registros (a 2017), organizados en sus carpetas cuyo contenido es la documentación total radicada en la institución.

En el segundo, se elaboró una ficha de análisis por cada uno de los trabajos de grado. Este es un instrumento operativo para la revisión teórico metodológica (epistémica), la cual está constituida por 2 unidades de información que buscan determinar la estructura de los trabajos de grado identificados:

- Datos básicos: título del trabajo de grado, nombre de los autores y año de presentación.
- Clasificación; en este punto se tuvo en cuenta los referentes teóricos recopilados y se determinaron las áreas de conocimiento desarrolladas en los trabajos de grado.

Se consultaron diferentes fuentes internacionales y nacionales, desde las que ofrecen clasificaciones amplias en diferentes sectores económicos, hasta clasificaciones más concretas en el campo del Diseño.

En el tercer paso se realizó una evaluación de aspectos de innovación y sustentabilidad aplicados en el resultado del trabajo de grado.

En este aspecto se evaluaron, tal como se comentó en párrafos anteriores, el nivel de novedad, la propuesta de valor y el impacto generado.

## RESULTADOS

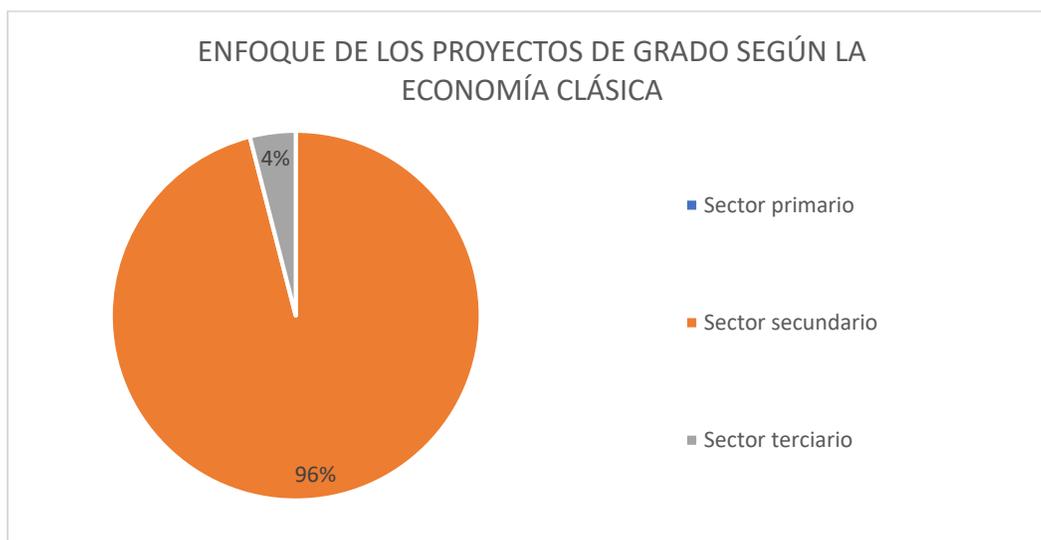
Teniendo los registros de 125 proyectos de grado del programa de Diseño Industrial, desde el año 2011 al 2017, se procedió a organizarlos de acuerdo a las siguientes clasificaciones:

1. Según la Economía Clásica.
2. Según Tipología en Diseño.
3. Según Temática en Diseño.

Esta clasificación arrojó los siguientes resultados:

Clasificación de los proyectos según la Economía Clásica:

ECONOMÍA CLÁSICA	# T.G	%	125
Sector primario	0	0%	
Sector secundario	120	96%	
Sector terciario	5	4%	



Se evidencia que el 96% de los proyectos de grado desarrollan investigaciones dentro del sector secundario productivo de la economía clásica, un pequeño porcentaje pertenece al sector terciario de la economía clásica dejando de lado intervención en el sector primario.

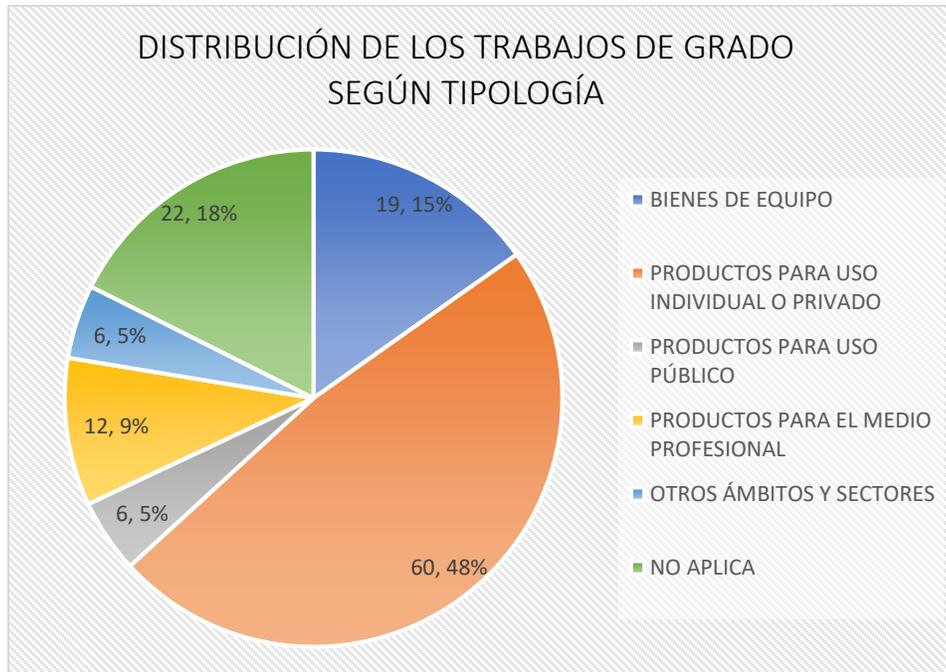
Clasificación de los proyectos según Tipología Temática:

Tipología	#		#

BIENES DE EQUIPO	19	Maquinaria industrial	2
		Herramientas	17
PRODUCTOS PARA USO INDIVIDUAL O PRIVADO	60	Electrodomésticos	1
		Útiles del hogar	0
		Menaje de cocina	0
		Productos de decoración	2
		Grifería y sanitarios	0
		Iluminación	0
		Aparatos electrónicos	3
		Audiovisuales	1
		Aparatos informáticos	0
		Mobiliario doméstico	13
		Telefonía	0
		Productos lúdicos	6
		Gadgets	4
		Productos personales	10
		Equipamiento deportivo	9
		Accesorios y utensilios para discapacitados	10
Accesorios y utensilios infantiles	1		
PRODUCTOS PARA USO PÚBLICO	6	Mobiliario urbano	1
		Mobiliario para espacios públicos	4
		Mobiliario para bares y cafeterías	0
		Mobiliario para tiendas y establecimientos comerciales	0
		Mobiliario para salas de reuniones y conferencias	0

		Mobiliario para espacios escolares y académicos	1
PRODUCTOS PARA EL MEDIO PROFESIONAL	12	Puestos de trabajo (workstations) y entornos de oficina	6
		Imagen corporativa	1
		Instrumentos de precisión y laboratorio	4
		Productos e instrumentos para uso militar	1
OTROS ÁMBITOS Y SECTORES	6	Diseño industrial relacionado con la configuración del espacio	0
		Habitáculos	2
		Instalaciones	0
		Stands para ferias y Salones	0
		Arquitectura	0
		Sector transportes	0
		Transportes para uso individual	0
		Transportes para uso público	0
		Embalaje (packaging)	4
		Productos vinculados al diseño experimental	0
NO APLICA	22	NO APLICA	23

Nota: Se incluyó la opción de NO APLICA para los trabajos que por su contenido y desarrollo no corresponden a ninguna de las tipologías propuestas.

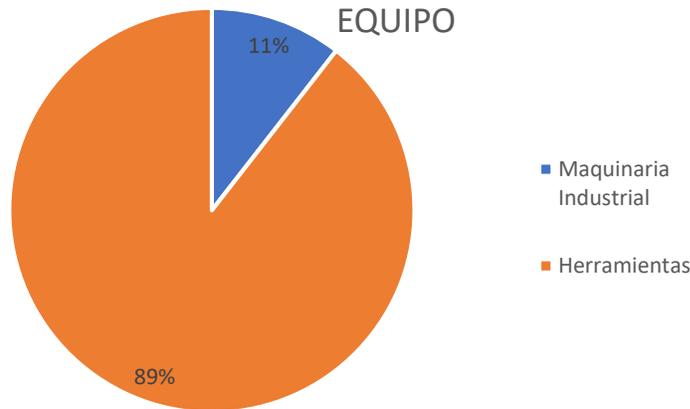


La gráfica muestra la distribución de los proyectos dentro de las diferentes tipologías y temáticas en diseño, evidenciando un gran porcentaje dentro de la tipología de productos para uso individual o privado, seguido de bienes y equipo. También se evidencia un gran porcentaje de trabajos que no corresponden a ninguna de las tipologías propuestas.

Teniendo en cuenta que numéricamente 19 y porcentualmente 15% de 125 trabajos fueron clasificados dentro de la tipología de Bienes y Equipo, se realiza la siguiente gráfica en la que se distribuyen los trabajos en sus correspondientes sub-clasificaciones: maquinaria industrial y herramientas.

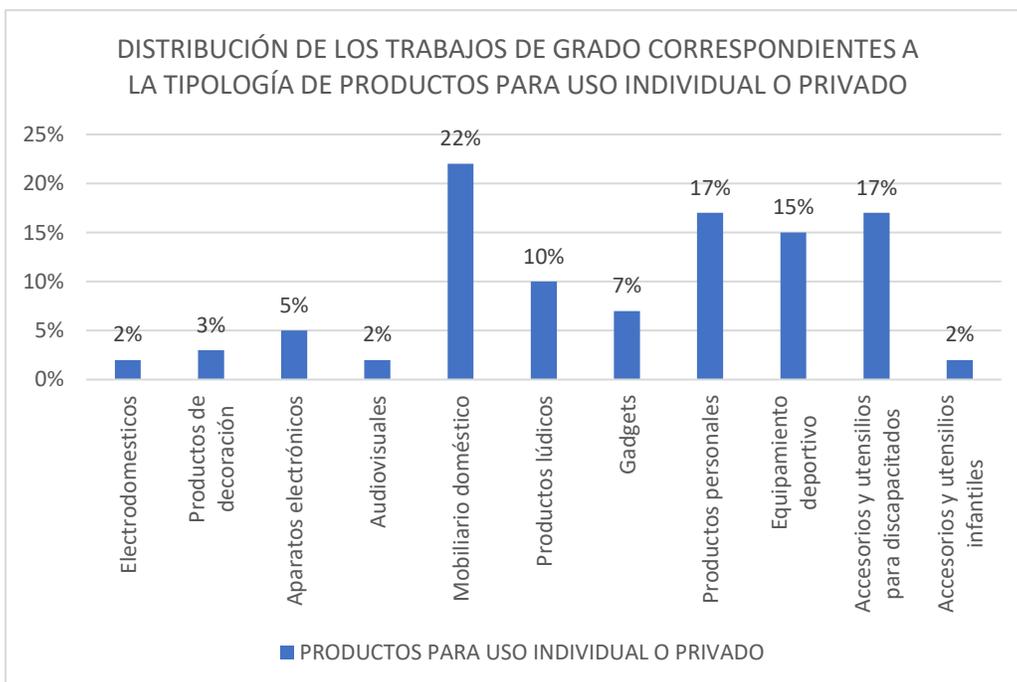
Evidenciando que el mayor porcentaje de los trabajos de grado pertenecientes a esta tipología se desarrollan en el ámbito de las herramientas.

### DISTRIBUCIÓN DE LOS TRABAJOS DE GRADO CORRESPONDIENTES A LA TIPOLOGÍA DE BIENES DE EQUIPO

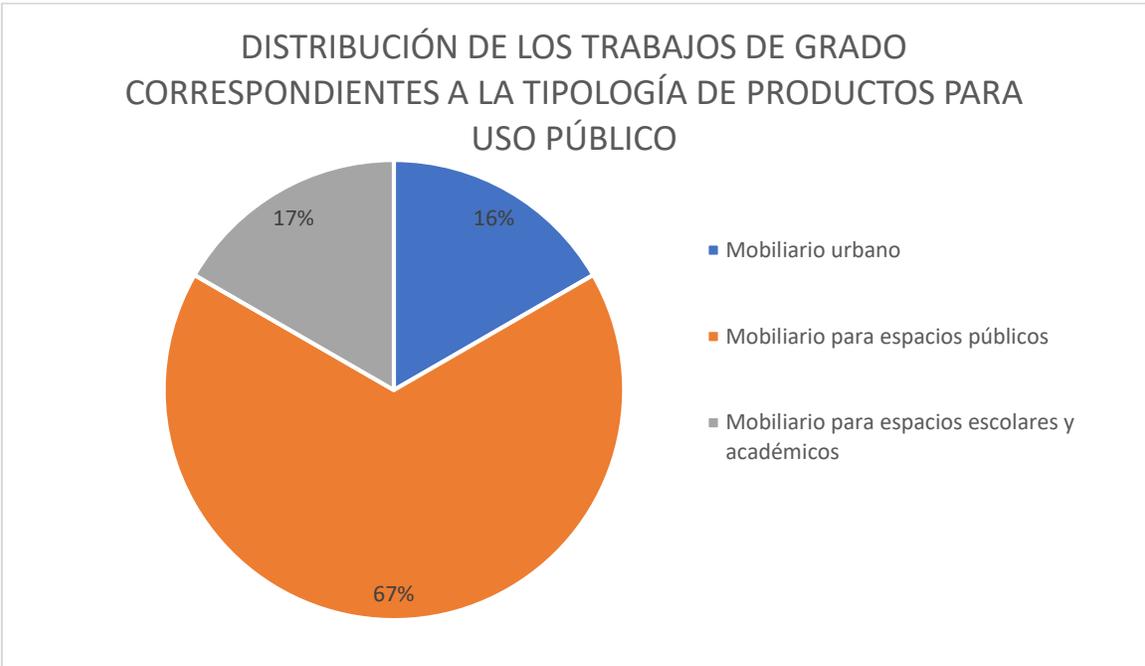


Por otra parte, teniendo en cuenta que numéricamente 60 y porcentualmente 48% de 125 trabajos fueron clasificados dentro de la tipología de productos para uso individual o privado, se realiza la siguiente gráfica en la que se distribuyen los trabajos en sus correspondientes sub-clasificaciones. Evidenciando que el mayor porcentaje de los trabajos se desarrolla dentro de las tipologías de producto mobiliario doméstico, accesorios y utensilios para discapacitados, productos personales, equipamiento deportivo y productos lúdicos.

### DISTRIBUCIÓN DE LOS TRABAJOS DE GRADO CORRESPONDIENTES A LA TIPOLOGÍA DE PRODUCTOS PARA USO INDIVIDUAL O PRIVADO



Teniendo en cuenta que numéricamente 6 y porcentualmente 5% de 125 trabajos fueron clasificados dentro de la tipología de productos para uso público se realiza la siguiente gráfica en la que se distribuyen los trabajos en sus correspondientes sub-clasificaciones. Evidenciando que el mayor porcentaje de los trabajos se desarrollan dentro de las tipologías de mobiliario para espacios públicos, continuando con mobiliario urbano y mobiliario para espacios escolares y académicos.



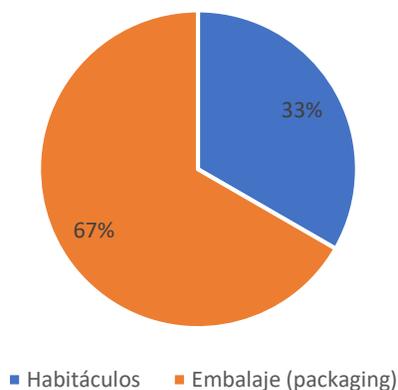
Teniendo en cuenta que numéricamente 12 y porcentualmente 9% de 125 trabajos fueron clasificados dentro de la tipología de productos para el medio profesional, se realiza la siguiente gráfica en la que se distribuyen los trabajos en sus correspondientes sub-clasificaciones. Evidenciando que el mayor porcentaje de los trabajos se desarrollan dentro de las tipologías de puestos y estaciones de trabajo e instrumentos de precisión y laboratorio, seguido de bajos porcentajes en desarrollo de imagen corporativa y productos para uso militar.

### DISTRIBUCIÓN DE LOS TRABAJOS DE GRADO CORRESPONDIENTES A LA TIPOLOGÍA DE PRODUCTOS PARA EL MEDIO PROFESIONAL



Teniendo en cuenta que numéricamente 6 y porcentualmente 5% de 125 trabajos fueron clasificados dentro de la tipología de otros ámbitos y sectores, se realiza la siguiente gráfica en la que se distribuyen los trabajos en sus correspondientes sub-clasificaciones. Evidenciando que el mayor porcentaje de los trabajos se desarrollan dentro de ámbitos de embalajes y habitáculos.

### DISTRIBUCIÓN DE LOS TRABAJOS DE GRADO CORRESPONDIENTES A LA TIPOLOGÍA DE OTROS ÁMBITOS Y SECTORES

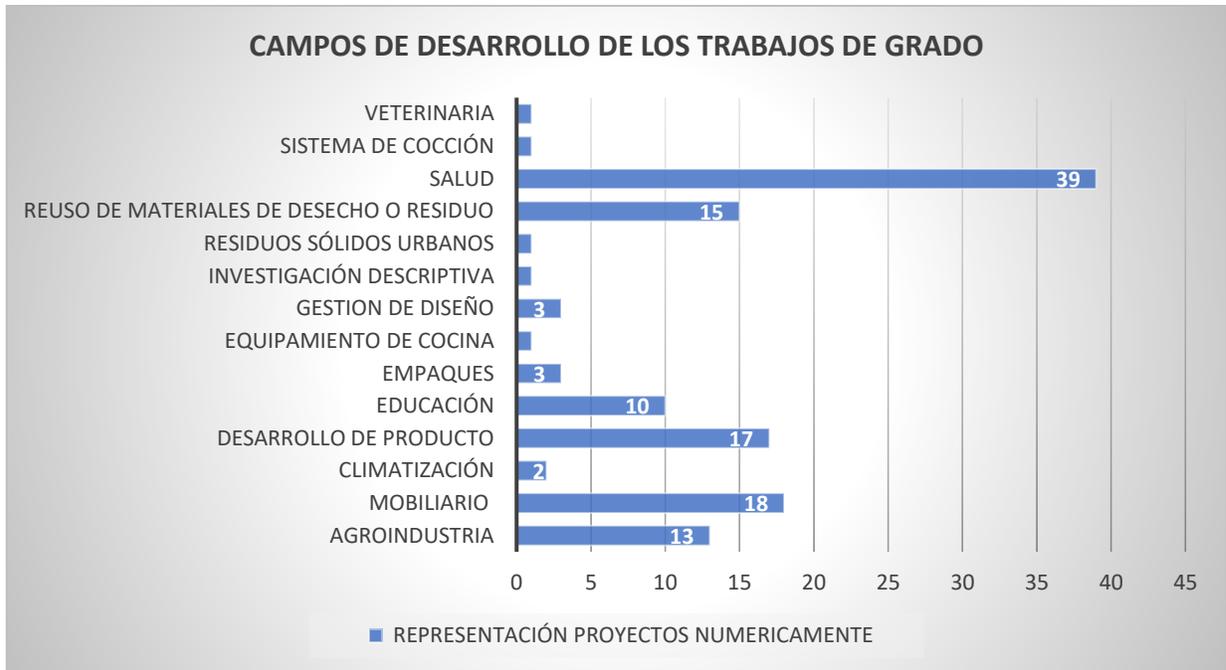


De igual manera, se identificó el desarrollo de los proyectos de grado dentro de las siguientes temáticas:

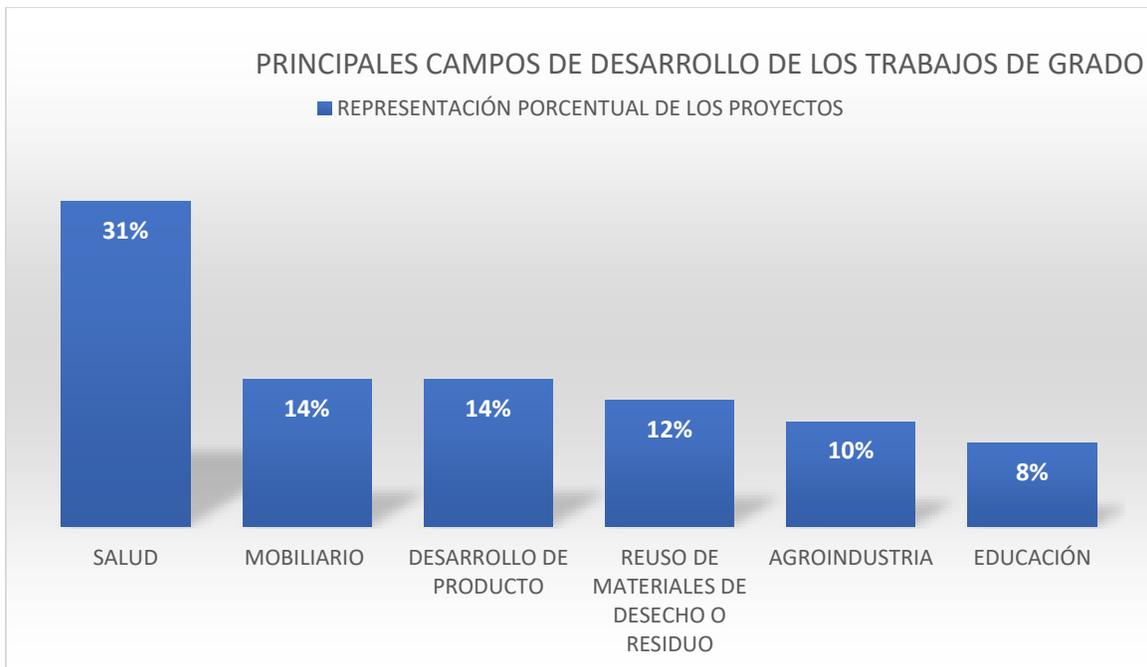
TEMÁTICA		%
AGROINDUSTRIA	13	10%
MOBILIARIO	18	14%
CLIMATIZACIÓN	2	2%
DESARROLLO DE PRODUCTO	17	14%
EDUCACIÓN	10	8%
EMPAQUES	3	2%
EQUIPAMIENTO DE COCINA	1	1%
GESTION DE DISEÑO	3	2%
INVESTIGACION DESCRIPTIVA	1	1%
RESIDUOS SOLIDOS URBANOS	1	1%
REUSO DE MATERIALES DE DESECHO O RESIDUO	15	12%
SALUD	39	31%
SISTEMA DE COCCIÓN	1	1%
VETERINARIA	1	1%

	CAMPOS DE MAYOR DESARROLLO	%
1	SALUD	39 31%
2	MOBILIARIO	18 14%
3	DESARROLLO DE PRODUCTO	17 14%
4	REUSO DE MATERIALES DE DESECHO O RESIDUO	15 12%
5	AGROINDUSTRIA	13 10%
6	EDUCACIÓN	10 8%

En la siguiente grafica se evidencia el desarrollo de los proyectos con enfoques mayoritariamente por temas de salud, mobiliario, desarrollo de producto y el re-uso de materiales de desecho o residuo.



En la siguiente gráfica evidencia los 6 principales campos de desarrollo de los trabajos de grado, ordenados de mayor a menor influencia.



En la siguiente tabla se registra y agrupa la información pertinente a la clasificación de los proyectos según tipología de diseño y temática, omitiendo las clasificaciones en las que no se desarrollaron trabajos. Se evidencia numéricamente la cantidad de proyectos clasificados por cada tipología y la cantidad de proyectos desarrollados en relación a cada temática identificada.

TIPOLOGÍA				TEMÁTICA
	# T.G.	Sub-clasificación	#T.G	# Proyectos según temática
BIENES DE EQUIPO	19	Maquinaria industrial	2	1- Empaques 1- Agroindustria
		Herramientas	17	12- Agroindustria 1- Climatización 1- desarrollo de productos 2- salud 1 -Reúso de materiales de desecho o residuo
PRODUCTOS PARA USO INDIVIDUAL O PRIVADO	59	Electrodomésticos	1	1- Sistema de cocción
		Productos de decoración	2	1- Reúso de materiales de desecho o residuo 1- Desarrollo de producto
		Aparatos electrónicos	3	1- Climatización
		Audiovisuales	1	1- Educación
		Mobiliario doméstico	13	3- Reúso de materiales de desecho o residuo 1- Equipamiento de cocina 9 -Mobiliario
		Productos lúdicos	6	3- Educación
		Gadgets	4	3 -Desarrollo de producto
Productos personales	10	1- Reúso de materiales de desecho o residuo 1- Gestión de diseño		

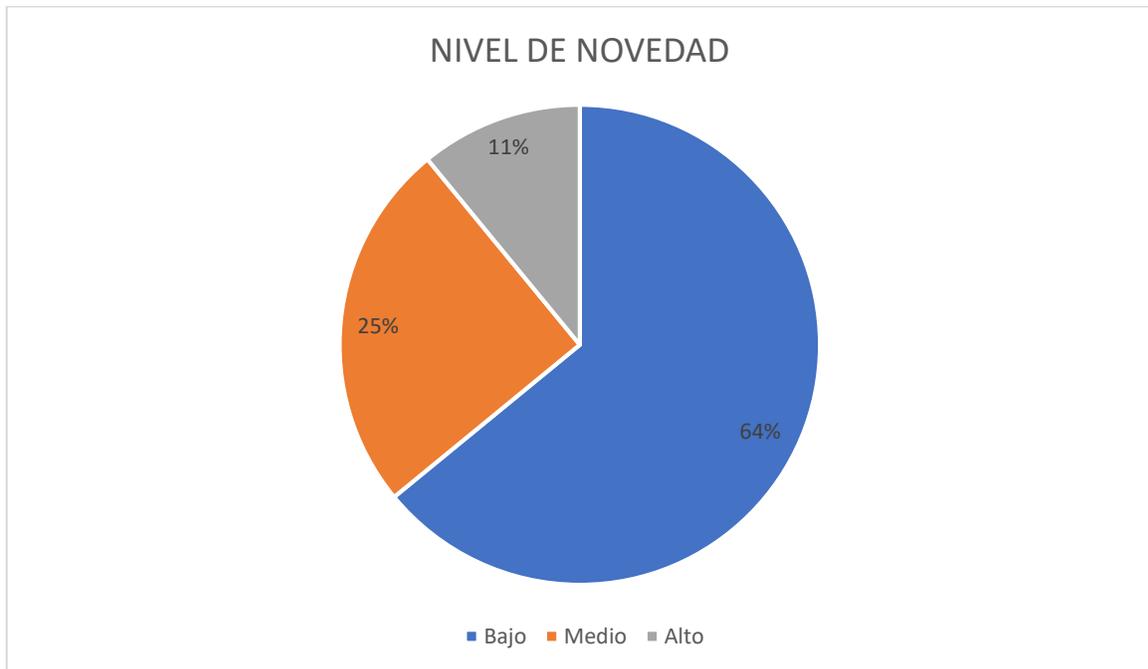
				5- Desarrollo de producto
		Equipamiento deportivo	9	2 -Desarrollo de producto
		Accesorios y utensilios para discapacitados	10	1- Educación 1- Veterinaria
		Accesorios y utensilios infantiles	1	1- Salud
PRODUCTOS PARA USO PÚBLICO	6	Mobiliario urbano	1	1- residuos sólidos urbanos
		Mobiliario para espacios públicos	4	4- Mobiliario
		Mobiliario para espacios escolares y académicos	1	1- Mobiliario
PRODUCTOS PARA EL MEDIO PROFESIONAL	12	Puestos de trabajo (workstations) y entornos de oficina	6	4 -Salud 2 -Mobiliario
		Imagen corporativa	1	1 -gestión de diseño
		Instrumentos de precisión y laboratorio	4	4 -Salud
		Productos e instrumentos para uso militar	1	1 -Salud
		Habitáculos	2	1- Desarrollo de producto 1- Mobiliario
		Embalaje (packaging)	4	2 -Desarrollo de producto 1 - Empaques 1 -Reúso de materiales de desecho o residuo

NO APLICA	22	NO APLICA	23	8- Reúso de materiales de desecho o residuo 1- Investigación descriptiva 1- Gestión de diseño 1 -Empaques 5- Educación 2- Desarrollo de producto 1 -Mobiliario
-----------	----	-----------	----	--

En cuanto al enfoque de innovación sustentable aplicado a los trabajos de grado, se ha podido determinar, basado en la evaluación realizada por los jurados de los mismos, que:

Factor Novedad: entendido como la diferencia en que es abordado el problema y por ende la diferencia en la respuesta ofrecida con respecto a otras ya conocidas.

75 trabajos de grado han sido considerados con factor de novedad bajo.  
 23 trabajos de grado han sido considerados con factor de novedad medio.  
 27 trabajos de grado han sido considerados con factor de novedad alto



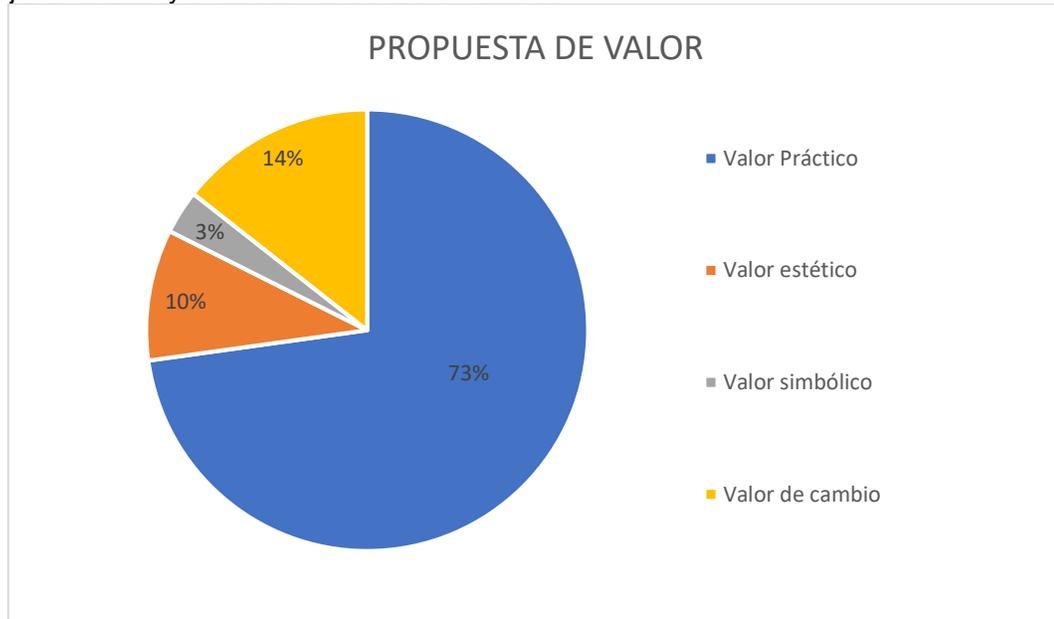
Factor de Propuesta de Valor: entendida como el aporte en el valor práctico (relación física con los seres humanos); valor estético (relación psicológica); valor simbólico (relación psíquica); valor de cambio (relación de intercambio).

91 trabajos tienen mayor énfasis en el valor práctico.

12 trabajos tienen mayor énfasis en el valor estético.

4 trabajos tienen mayor énfasis en el valor simbólico.

18 trabajos tienen mayor énfasis en el valor de cambio.



Factor Impacto; teniendo en cuenta las implicaciones que la respuesta ofrecida genera en los aspectos económicos, sociales / culturales, ecológicos, de habitabilidad, educativos, productivos, éticos, políticos, todos relacionados en el concepto de calidad de vida.

59 trabajos presentan énfasis en los aspectos sociales / culturales.

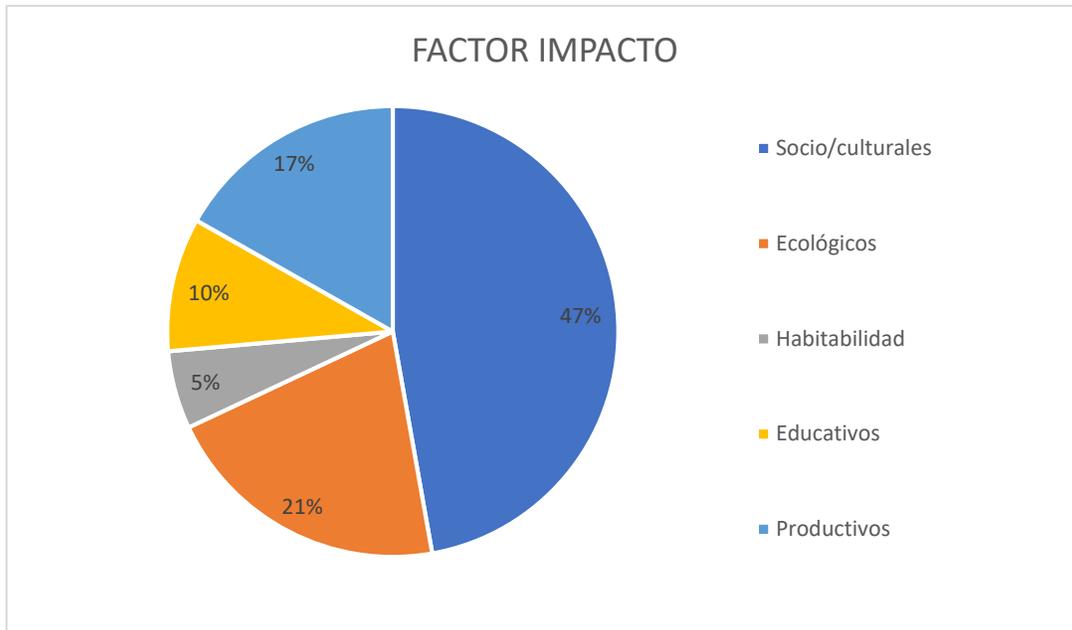
26 trabajos presentan énfasis en los aspectos ecológicos.

7 trabajos presentan énfasis en los aspectos de habitabilidad.

12 trabajos presentan énfasis en los aspectos educativos.

21 trabajos presentan énfasis en los aspectos productivos.

Con respecto a los demás aspectos relacionados con la calidad de vida no se relacionaron trabajos.



## CONCLUSIONES

Basado en los avances preliminares, se evidencia la necesidad de registrar el proceso y desarrollo del proyecto final más allá de los soportes teóricos y aplicados propios del programa, constituyendo para la presente investigación un insumo valiosísimo, por cuanto permiten, así sea de manera solo aproximada, conocer la postura y el pensamiento sobre el diseño de los egresados de Diseño Industrial.

La gran mayoría de trabajos presentados pertenecen al sector secundario (manufactura), lo que implica un fuerte impacto en la industria productiva local y regional.

Se evidencia una fuerte tendencia a diseñar productos para uso privado, esto debido a que se trabaja con empresas o personas naturales en su mayoría.

La temática en la que se evidencia mayor trabajo es en el área de la salud, lo que implica un fuerte componente de compromiso humano y social.

Aunque el nivel de novedad evidenciado es bajo, la sumatoria entre novedad media y alta es cercana a un 50%, lo que ayuda a motivar a los estudiantes de otros cursos.

Predomina la función práctica, aunque siempre están presentes todas las funciones de una u otra manera.

El impacto de los trabajos de grado se da en mayor medida en el ámbito social y cultural, esto es coherente con el tipo de procedencia de los estudiantes.

En cuanto a la aplicación en los trabajos del enfoque de Proyección Ambiental, se puede determinar que los trabajos de grado contemplan la gran mayoría de los ítems de evaluación, cuyo análisis conlleva a Diseñar artefactos:

Económicamente viables / rentables.  
Culturalmente responsables.

Ecológicamente favorables.  
Humanamente dignas.  
Socialmente convenientes.  
Tecnológicamente factibles.  
Éticamente legítimas.

La recomendación principal de este trabajo es continuar con la revisión y registro crítico de la totalidad de los trabajos de grado para determinar de manera concreta cuáles son las áreas temáticas estudiadas, y cuáles se pueden considerar como aportes del Programa curricular a la disciplina, y a la profesión a nivel nacional y latinoamericano.

Es importante resaltar que esta investigación es sólo el primer paso para la construcción de un diagnóstico global de las fuentes históricas, teóricas y metodológicas utilizadas por los estudiantes del programa de Diseño Industrial de la Universidad de Pamplona en el desarrollo de sus trabajos de grado.

Adicional al documento de recopilación histórica y estadística, producto de esta primera fase de la investigación, se plantea el protocolo para la revisión y valoración de trabajos de grado susceptibles de ser sometidos a procesos de patente, registro o publicación.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. **CALVACHE, D. S.** (SF) La metodología de diseño al interior de los programas de diseño industrial colombiano: hacia el planteamiento de formas propias de hacer diseño.
2. **CROSS, N. (2007).** From a design science to a design discipline: Understanding designerly ways of knowing and thinking. *Design research now*, 41-54.
3. **JIMÉNEZ, LUIS.** (2005). La sostenibilidad como proceso de equilibrio dinámico y adaptación al cambio. ICE Desarrollo Sostenible.
4. **LEFF, E., & FUNTOWICZ, S. O.** (2000). La complejidad ambiental. Siglo XXI.
5. **OECD/EUROPEAN COMMUNITIES** (2005). Manual de Oslo. Tercera Edición.
6. **PAZ, G. B.** (1975). Manual para elaborar trabajos de investigación documental. Universidad Nacional Autónoma de México.
7. **PESCI, RUBÉN.** (2007). *Proyectar la sustentabilidad*. Editorial CEP A.
8. **RAMÍREZ, MARCELA.** (2012) Manual sobre diseños industriales. Bogotá: SIC.
9. **SUPERINTENDENCIA DE INDUSTRIA Y COMERCIO - SIC** Patente de invención y patente de modelo de utilidad. Bogotá. (2008)
10. **UNIVERSIDAD DE PAMPLONA**, Documento de Conceptualización del programa de Diseño Industrial, Universidad de Pamplona (2008)

#### 2.4.7 Comunidades entrelazadas.

Reflexión derivada del proyecto de investigación Estrategias metodológicas para proyectos en comunidad desde la práctica social en Diseño Industrial y Arquitectura

##### **Diomar Elena Calderón Riaño <sup>(1)</sup>**

Diseñadora Industrial de la Universidad Industrial de Santander (UIS) con Maestría en Ecodiseño (Politecnico di Torino). Docente-Investigadora con intereses en desarrollo de proyectos de investigación relacionados con temas de identidad, prácticas y desarrollo local a nivel socio cultural.

##### **Laura Camila Barón Correa**

Arquitecta de la Universidad de San Buenaventura, con experiencia en coordinación e interventoría de proyectos y liderazgo en el desarrollo de proyectos de carácter social.

**Dirección (1):** Carrera 56C N° 51-110 - Barrio Centro – Medellín - Antioquia- Código Postal - País -  
Tel.: (+57) 3144454979 – e-mail: [diomar.calderon@usbmed.edu.co](mailto:diomar.calderon@usbmed.edu.co)

#### **RESUMEN**

La Práctica Social emerge en una red articulada a diversas comunidades para llevar el aula, la investigación y finalmente la Universidad a escenarios reales que inspiran procesos de diseño responsables con el contexto. Este ejercicio aplicado en programas de Diseño Industrial y Arquitectura busca una experiencia de aprendizaje en red, donde las comunidades se solidarizan para dar respuesta a una situación para el mejoramiento de la calidad de vida desde un proceso colaborativo de Diseño.

El análisis de situaciones desde una visión sistémica plantea una serie de principios para la sociedad, la industria y el ambiente en términos de conectividad, relaciones y contexto, los cuales pueden modificar comportamientos y procesos tanto en producción como consumo para la correcta utilización de recursos, es decir, el diálogo entre las necesidades, las prácticas culturales, el territorio son aspectos vinculados al desarrollo económico, social, y ambiental. Las comunidades tienen la responsabilidad de los cambios en el entorno en que viven; cambios que tienen su origen en las decisiones cotidianas, los productos que se crean, el estilo de vida que se lleva y las interacciones que se dan con el medio ambiente.

**Palabras claves: diseño con comunidades, proyectos solidarios, educación y sostenibilidad**

#### **INTRODUCCIÓN**

El Ministerio de Educación Nacional de Colombia en el marco de la política de Pertinencia de la Educación Superior involucra el servicio social, orientado a promover la cultura de la responsabilidad social en las Instituciones de Educación Superior – IES, con el fin de potenciar la formación integral y el compromiso social, vinculados al tratamiento y reinterpretación de las necesidades a diferentes escalas ya sea nacional, regional, local; como componente para la formación integral de las estudiantes que contribuye a la construcción de su identidad cultural.

En América Latina el tema de la Responsabilidad Social Universitaria se ha convertido en un desafío para las instituciones de educación superior asociado a los preceptos de pertinencia, equidad, inclusión y calidad en la Educación Superior. Desde las instancias específicas en educación superior, se ha considerado la responsabilidad social como un mecanismo formativo que permite el desarrollo

del proceso educativo de los estudiantes haciendo una interpretación personal de su compromiso con el medio, con establecimiento y con el contexto familiar y social, para así integrar a la vida comunitaria a los estudiantes. (MEN, 2010)

La *sociedad* exige a la educación la formación de profesionales comprometidos con el desarrollo sostenible del país de manera equitativa, una formación que forje líderes políticos que ejerzan su función sobre bases éticas, y que movilice a sus organizaciones públicas y privadas en torno a lo social de manera responsable. La formación de un profesional en cualquier nivel o área del conocimiento puede constituirse en un asunto de tipo pedagógico que se puede resolver. Sin embargo, formar profesionales sensibles a los problemas de los demás, comprometidos con la real inclusión social de los más vulnerables, entusiasta y creativo en la articulación de su profesión con el desarrollo de la sociedad, es más difícil pero no por ello imposible. (MEN, 2010)

La *academia* juega un papel importante en la construcción de un modelo de conciencia colectiva y de responsabilidad social desde los saberes disciplinares, en el área proyectual debería enfocarse en el trabajo por el otro, lo otro y los otros, propiciando espacios que permitan el desarrollo de actitudes en los estudiantes que favorezcan el servicio a los demás y se propongan alternativas de cambio y de progreso común. Según Manzini (2015) este profundo cambio social tiene lugar en un mundo conectado e inmerso en una transición hacia la sostenibilidad: un mundo en el que todos, lo quieran o no, ven la necesidad de diseñar y rediseñar de forma continua su existencia, en el que convergen iniciativas que dan lugar a grandes cambios sociales; un mundo donde el papel de los expertos de diseño no es otro que impulsar y apoyar proyectos individuales y colectivos y, en consecuencia contribuir a las transformaciones que puedan derivarse de ellas. (p. 1)

El compromiso de la educación superior con el medio social debe incentivar en los estudiantes la participación en la construcción de alternativas de desarrollo nacional, regional y/o local, a través de proyectos, ya sean pedagógicos, arquitectónicos y de diseño para el fortalecimiento de valores como: solidaridad, participación, responsabilidad, mejoramiento del ambiente, dignidad, sentido del trabajo y uso del tiempo libre en bienestar del otro. Como afirma Manzini (2015):

En un mundo en rápida y profunda transformación, todos somos diseñadores de alguna manera, y en este “todos” se refiere a cualquiera ya sea una persona o un colectivo, que se ve ante la situación de definir su propia identidad y su propio proyecto vital en un mundo de transformación. Ello implica poner en funcionamiento *su capacidad para diseñar como una forma de pensar y de hacer* que suponga reflexión en sentido estratégico, que obligue a fijarnos en nosotros mismos y en nuestro entorno, y a decidir qué podemos hacer para mejorar el actual estado de las cosas. (p. 1)

## **Diseño y Comunidad**

Papanek abrió una línea de pensamiento ecológico entre los diseñadores y se convirtió en una referencia en materia de ecodiseño y sostenibilidad, define que diseñadores industriales, industria y gobiernos debían determinar el daño ecológico y social que se estaba causando a nuestras comunidades e indicó que la intervención de los profesionales del diseño tenía que ser modesta, sensible y respetuosa con el contexto social (1984). Para Papanek, la era de la producción en masa, cuando todo debe ser planificado y diseñado, el diseño se ha convertido en la herramienta más poderosa con la que el hombre da forma a sus artefactos y ambientes (y, por extensión, a la sociedad y a sí mismo). Esto demanda una gran responsabilidad social y moral del diseñador. También demanda una mayor comprensión de la gente por aquellos que practican el diseño y más entendimiento por el público del proceso de diseñar.

Thackara ha señalado que el deber del diseñador del futuro será “diseñar maneras de ver aquello que no se ve”, porque para hacer las cosas de un modo diferente las hemos de ver de una manera diferente.

Empezar a vincular lo “social” al diseño según Chaves (Como es citado en Subirats y Baldosa, 2007) implica empezar a establecer la relación con la equidad, pero no solo visto desde variables cuantitativas de frente al proceso creativo, sino desde diferentes enfoques ideológicos. De acuerdo con Chaves (2001) lo social consolida al diseño como una actividad que garantiza intereses colectivos más allá de lo individual “Social” sería pues, en esta acepción, sinónimo de “solidario”.

Según Thackara(2005) el diseño comprometido con el contexto social del consumo y de las comunidades, promueve la colaboración y la innovación. Para Jégou &Manzini (2003) la sociedad deja de ser vista como un hecho aislado y se convierte en un diseño "red de redes", en la que se interconectan los procesos y el diseñador se concibe como parte de la comunidad, como sujeto activo en los procesos de desarrollo creativo de la comunidad con la cual está trabajando (Co-Design).

El diseño se relaciona directamente con las características concretas del entorno cultural y funcional. Esto sugiere la actividad de interpretación y adaptación: la transición hacia la sostenibilidad puede y debe verse como un gran proceso de aprendizaje social en el que es también necesario aprender de cuanto sucede en otras partes del mundo. Al hacerlo, es obligado preservar y promover las diferencias que, no solo enriquecen la calidad de nuestras vidas, sino que son un valor digno de atención para garantizar la diversidad cultural social que haga más resiliente la sociedad global. Es decir, para que sea capaz de afrontar lo inesperado, que sin duda, conlleva el futuro (Manzini, 2015)

“Definimos las innovaciones sociales como ideas (nuevos productos, servicios y modelos) que satisfacen las necesidades sociales y crean nuevas relaciones o formas de colaboración. En otras palabras, se trata de innovaciones que mejoran la capacidad de la sociedad para su funcionamiento” (Manzini, 2015, p. 14). De la misma manera, el diseño colaborativo por su parte produce no sólo los objetos, es responsable de la generación de ideas, conocimientos, procesos y relaciones, tiene la habilidad para organizar los elementos de tal forma que las personas crean lazos de comunicación con otras personas y entidades que suministran servicios, se consolida como un campo holístico, multidisciplinario e integral alrededor de la situación en análisis (Moritz, 2005). La participación de los individuos y la comunidad genera mayores oportunidades para proponer diseños compatibles con el contexto, facilitando el pensamiento colaborativo, integrando personas, mejorando la comunicación y el fortalecimiento de la red de intercambio de conocimientos.

La proyección social asumida desde el programa académico de Diseño Industrial parte de la responsabilidad del *Diseño* para mejorar la calidad de vida de las personas, por lo tanto éste hace parte de la comunidad vista ya sea como grupo, barrio, equipo, organización, etc. *El Diseño* es una disciplina social y desde este enfoque se preocupa por situaciones reales de las personas, hábitos y cultura creados en una comunidad, que conforman la red formada por una red de relaciones entre las personas y las acciones que indudablemente impactan a nivel social, cultural, económico y ambiental.

La responsabilidad social como valor importante del Diseño se relaciona con las decisiones que tomamos todos los días, en los productos que creamos, en las interacciones que tenemos con el medio ambiente y el estilo de vida que llevamos. Así, el Diseño tiene la responsabilidad de favorecer la realidad social, y a su vez, la sociedad tiene la responsabilidad de los cambios en el entorno en que vive.

La formación en Diseño Industrial en la Facultad de Artes Integradas de la Universidad de San Buenaventura toma los principios ya presentados y se enmarca en el desarrollo de proyectos basados en principio de realidad, en el servicio a los otros y en la posibilidad de dar respuestas asertivas con el contexto estudiado; es decir, . El Programa DI se encarga de propiciar escenarios

desde los ejercicios planteados semestre a semestre en la líneas proyectuales, teoría e historia y gestión, también se ocupa de la búsqueda de plazas para práctica social y profesional que permitan un desarrollo integral de los estudiantes, y promueve participación en actividades, eventos que permitan un ejercicio responsable del Diseño desde el proceso formativo.

### **Proyectos con las personas**

El enfoque en la formación de la persona y no solamente en la capacitación profesional, permite una relación dialógica con la realidad y el entorno cultural, es decir, la posibilidad de espacios de aprendizaje y de acción reales para estudiantes y profesores; que apoyan los procesos de interacción ciudadana aplicada en el marco de la proyección académica por medio de propuestas que puedan incidir en la realidad y transformarla.

Como afirma Echeverri (2016) el reconocimiento del otro en su propia realidad implica el traslado del aula de clase a la ciudad, a los barrios, a las fábricas, a los hogares, en fin, a la calle, a cualquier lugar que ese otro habita y donde se da el transcurrir de la vida cotidiana de las personas. Para que este desplazamiento a la calle trascienda el mero hecho de trasladar la clase a otro espacio físico, y pueda convertirse en una apuesta situada y crítica, los diseñadores en formación y docentes del taller de proyectos deben:

-Replantear las categorías y conceptos bajo los cuales se ha pensado el diseño, éstos, no pueden estar desligados de sus contextos de origen desvinculados de todo compromiso vital, por el contrario, deben ser remitidos a la situación en particular en la que fueron elaborados, para que puedan trascender la particularidad y al mismo tiempo puedan ser retomados desde otras experiencias análogas (Auat, 2011).

-Si el otro y su realidad están a la vuelta de la esquina ¿para qué imaginarlo? Al salir de las cuatro paredes del aula, los estudiantes y docentes se deben alejar de los supuestos e interpretaciones que se le confieren al otro usualmente en los procesos de diseño en el momento en que se intenta definir un usuario. Aquí la idea de participación a la manera de Orlando Fals Borda, a través de la Investigación Acción Participativa (IAP) (Fals Borda, 1985) es fundamental, ya que esta permite reconocer al otro por fuera del exotismo, al tiempo que propicia una serie de reflexiones engendradas y validadas por las comunidades que le hacen vivir emancipadamente en su mismo habitar.

-Este reconocimiento del otro favorece los lazos de confianza, tan necesarios para estos procesos, ayudando con la identificación y formulación colectiva de necesidades específicas, que por obvias razones están por fuera de las tendencias del mercado de bienes materiales. Propiciar estas investigaciones colectivas entre diseñadores y comunidades, suscitan que el conocimiento se pueda fundamentar en el diálogo y el intercambio de experiencias, experticias, vivencias, opiniones, anécdotas, valorando con esto el conocimiento que se gesta en la informalidad, en la sensibilidad, en la subjetividad, en la intuición y el sentido común. (Auat, 2011).

-Reconocer que al trabajar con y para las personas, las direcciones del proyecto son inciertas; dependen en gran medida de la contingencia propia de las dinámicas sociales. Así que los estudiantes y profesores, deben estar dispuestos a la incertidumbre constante, a renunciar y a replantear una y otra vez las ideas de proyecto, y con esto, aceptar por un lado, la incomodidad que trae la imposibilidad de planear (práctica bastante difundida en el taller de proyectos); y por otro lado, la variedad temática que esta manera de proyectar acarrea, hasta el punto que puede desbordar los conocimientos de los mismos docentes.

### **Apuntes metodológicos del proceso**

La investigación se fundamenta en principios descriptivos de los procesos que dan cuenta de la práctica social, las características de las instituciones, las comunidades, las mediciones del impacto y percepciones de los procesos realizados.

La investigación presenta aquí una reflexión de las *formas de hacer las cosas* en términos del acercamiento de la *academia a la sociedad* a través de la práctica social, donde se plantearon formatos de valoración del proceso actual aplicados a los sujetos involucrados la práctica social (estudiantes, centros de práctica, asesores) De esta manera el trabajo colaborativo con los estudiantes, docentes y entidades posibilitó la observación detallada, el análisis y la propuesta de nuevas sugerencias alrededor del tema, así como el reconocimiento y la valoración del proceso de práctica social actual en programas académicos como Diseño Industrial y Arquitectura.

También se presentan las *formas de pensar las cosas* relacionadas con anotaciones de mejoramiento para el proceso futuro de la práctica social en términos metodológicos para consolidar la intención de la responsabilidad social universitaria.

### **Formas de hacer las cosas**

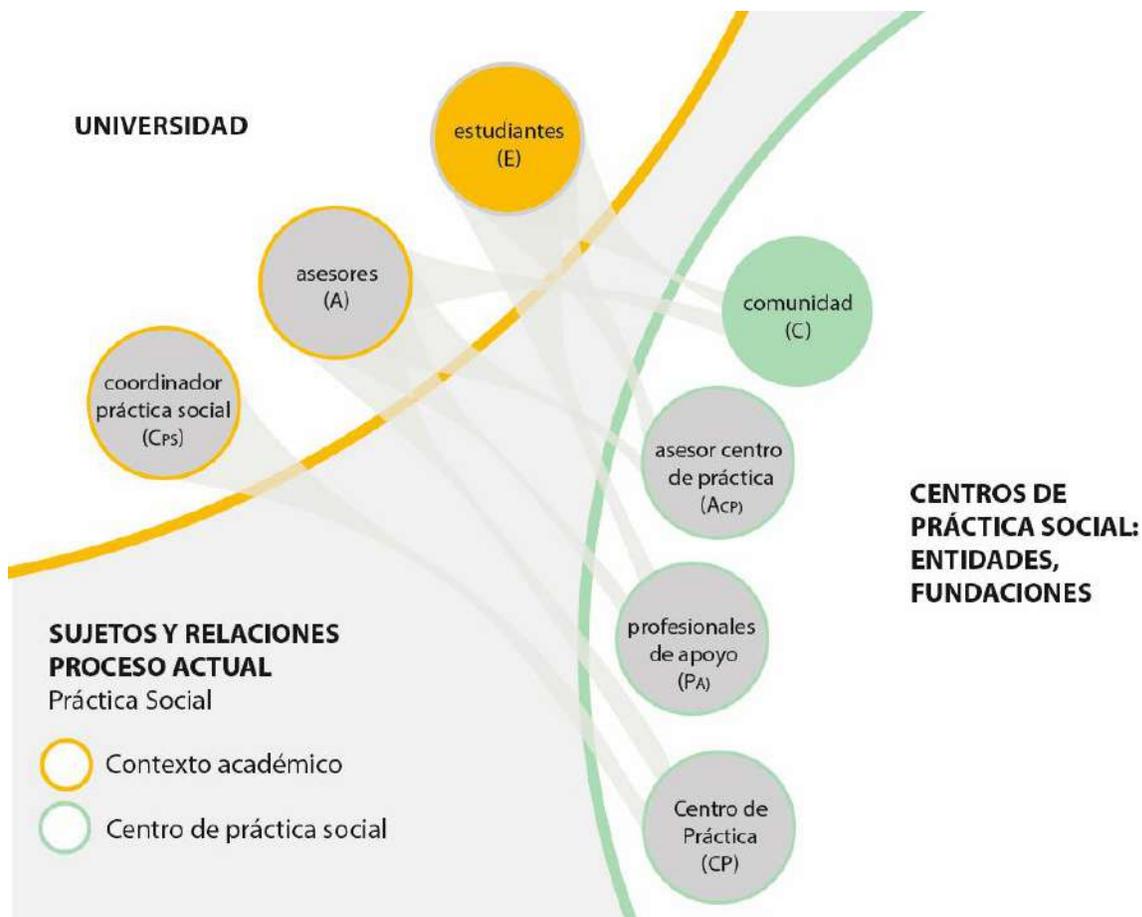
La práctica social involucra proyectos que permiten el desarrollo de los valores humanos y sociales, que fortalecen o contribuyen la construcción y transformación de la sociedad. El propósito desde la academia va encaminado al fortalecimiento de la formación de una persona solidaria, respetuosa de la diferencia, que considere y reconozca los valores, limitaciones de sí mismo y de los demás.

“Todas las dificultades representan desafíos para la sociedad en su conjunto y para las instituciones y organismos políticos, a cualquier escala ya sea local o global”. (Manzini, 2015, p. 15) Cada una de ellas supone un inmenso problema social cuya solución invita a ONG's y otras asociaciones de la sociedad civil deben cumplir su papel, y lo que es más importante, los individuos, las familias, las comunidades tienen que participar de manera activa y cooperativa en estos procesos. Esta construcción del tejido social; donde se dignifique el trabajo, el servicio y la confianza en los demás requiere dar significado a los conceptos de disciplina, responsabilidad y compromiso con las necesidades que presenta la sociedad. Es ahí donde la innovación social puede ser útil. Por supuesto, *la forma* en que esto suceda es una incógnita, pero no hay duda de que, en todas partes y cada día más, millones de personas se ven obligadas a cambiar algo en su forma de vivir (y más que eso, en su forma de pensar y en su idea de bienestar) (Manzini, 2015, p. 15)

### **Las relaciones**

Para describir cómo tienen lugar estos procesos de codiseño, podemos partir de un modelo conceptual en los que los actores involucrados se encuentran dispersos en diferentes nodos de la red socio-técnica y funcionan de forma independiente. Sin embargo, al mismo tiempo, como están conectados, actúan como redes para el diseño en las que todos diseñan, ya sean expertos o inexpertos. Al pasar este modelo conceptual a la realidad, se hace evidente que la red que pone en conexión a esos distintos actores no es nunca homogénea o indiferenciada; en consecuencia se forman relaciones más o menos densas, fuertes y estables que dan lugar a diferentes tipos de redes para el diseño (Manzini, 2015, p. 64)

Como se muestra en la Figura 6. la práctica social vincula dos contextos de diferentes características, el proceso realizado ha permitido proporcionar a las estudiantes la oportunidad de integrarse a la comunidad local - regional a través de la colaboración en proyectos y trabajos sociales que permitan afianzar los valores de la solidaridad, el respeto y el sentido de pertenencia, para favorecer el desarrollo de habilidades y actitudes aptas para el trabajo y contribuir al mejoramiento del entorno en diferentes escalas



**Figura 7. Mapa de sujetos y relaciones del proceso actual. Fuente: propia**

Las relaciones la práctica social se tejen en dos niveles; al inicio y al cierre del proceso las relaciones son más de nivel institucional. En la mitad del proceso se dan relaciones directamente con la comunidad donde son generadas por el proyecto y su ejecución. Las relaciones institucionales generan en los estudiantes aprendizajes diferentes a los aprendizajes derivados ya al momento al desarrollo de la práctica.

Existe flexibilidad en el proceso que se manifiesta desde la posibilidad de selección de la plaza, el tipo de comunidad atendida, la opción de apertura de una nueva plaza y flexibilidad en el desarrollo y ejecución del proyecto en términos de proceso creativo.

La variedad en los sujetos involucrados en el proceso: coordinador de prácticas, asesores, estudiantes, centros de práctica, comunidad, establece *la comunicación* como aspecto transversal y fundamental para garantizar el cumplimiento de los alcances de la práctica social. Es necesario tener en cuenta los diferentes niveles de la comunicación, frecuencia y modos efectivos de acuerdo al momento en que se encuentre el proceso. La necesidad del encuentro en el aula con cierta frecuencia puede mitigar los vacíos en la comunicación manifestados por algunos estudiantes y fortalecer el acompañamiento en el proyecto solidario.

Los estudiantes reconocen el desarrollo del curso como un espacio formativo, lo perciben como un reto personal en el cual, podían poner a prueba sus conocimientos y cualidades personales; la

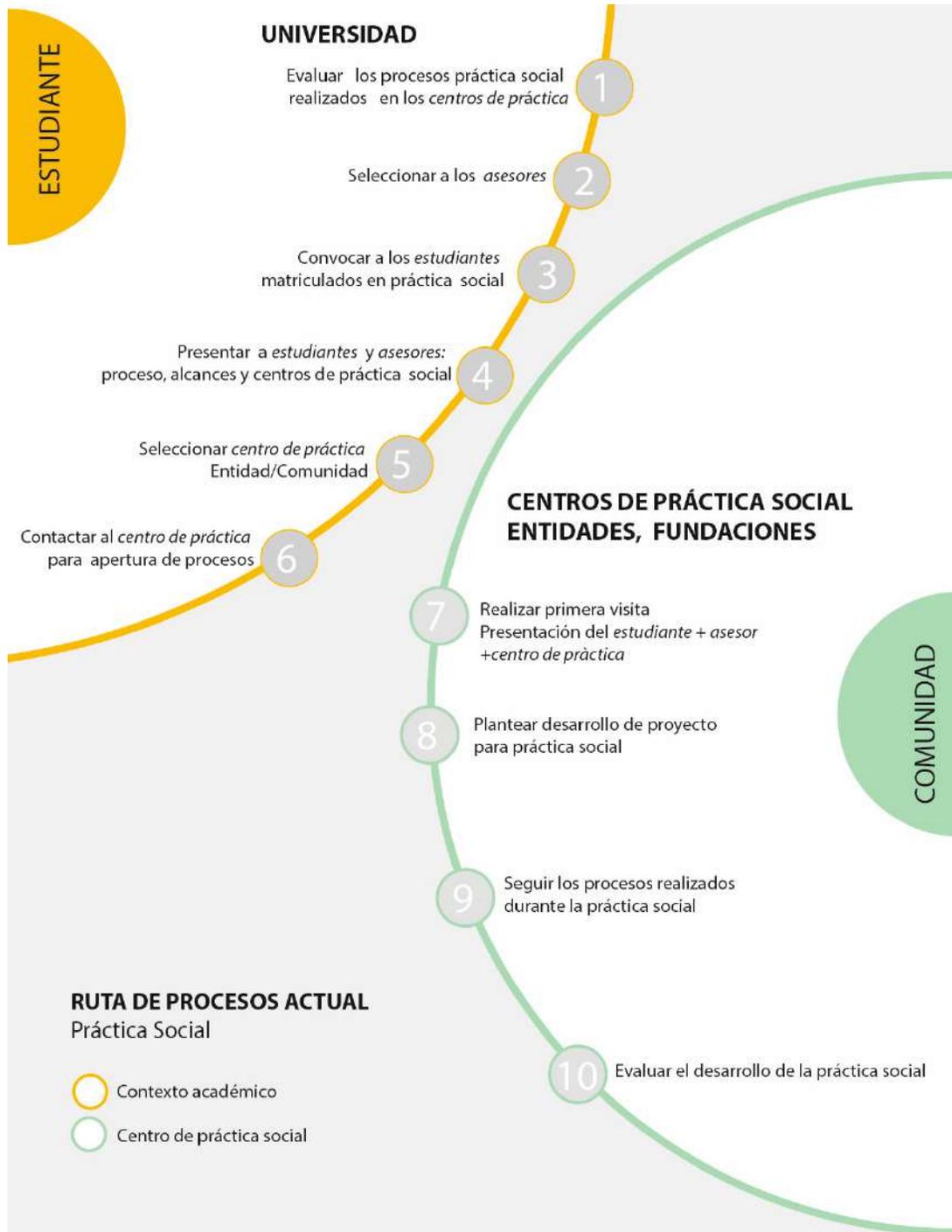
práctica social fortalece habilidades para el trabajo en equipo, desarrollo de liderazgo, empatía, capacidad de resolución de problemas y comunicación para el ejercicio de su profesión en el entorno laboral. La práctica social para el estudiante podría llegar a ser una experiencia certificada con aval del centro de práctica que le permita al estudiante consolidar su hoja de vida para experiencias futuras.

La variedad en los centros de práctica social genera por efecto desarrollo de tipologías de proyecto diferentes, esto debería estar en coherencia con el perfil del asesor y el perfil del estudiante para una mayor calidad del proceso. Desde la Coordinación de prácticas se podrían estudiar y establecer líneas de proyecto, asociadas al mapa de conocimiento ya propuesto desde la Facultad.

### ***La Estructura***

La *Figura 2* evidencia la estructura lineal del proceso actual de la práctica social, lo cual debería replantearse para facilitar las relaciones entre los sujetos involucrados: Estudiantes, asesores, coordinador, centros de práctica y comunidad; ya que se trata de un ejercicio de diseño colaborativo. El encuentro inicial (4) destinado para la presentación del proceso, asesores, estudiantes y alcances debe permitir pactar los compromisos (Derechos, Deberes) para los sujetos involucrados. Así mismo este encuentro debe permitir la identificación de las funciones de cada uno de los participantes en el proceso.

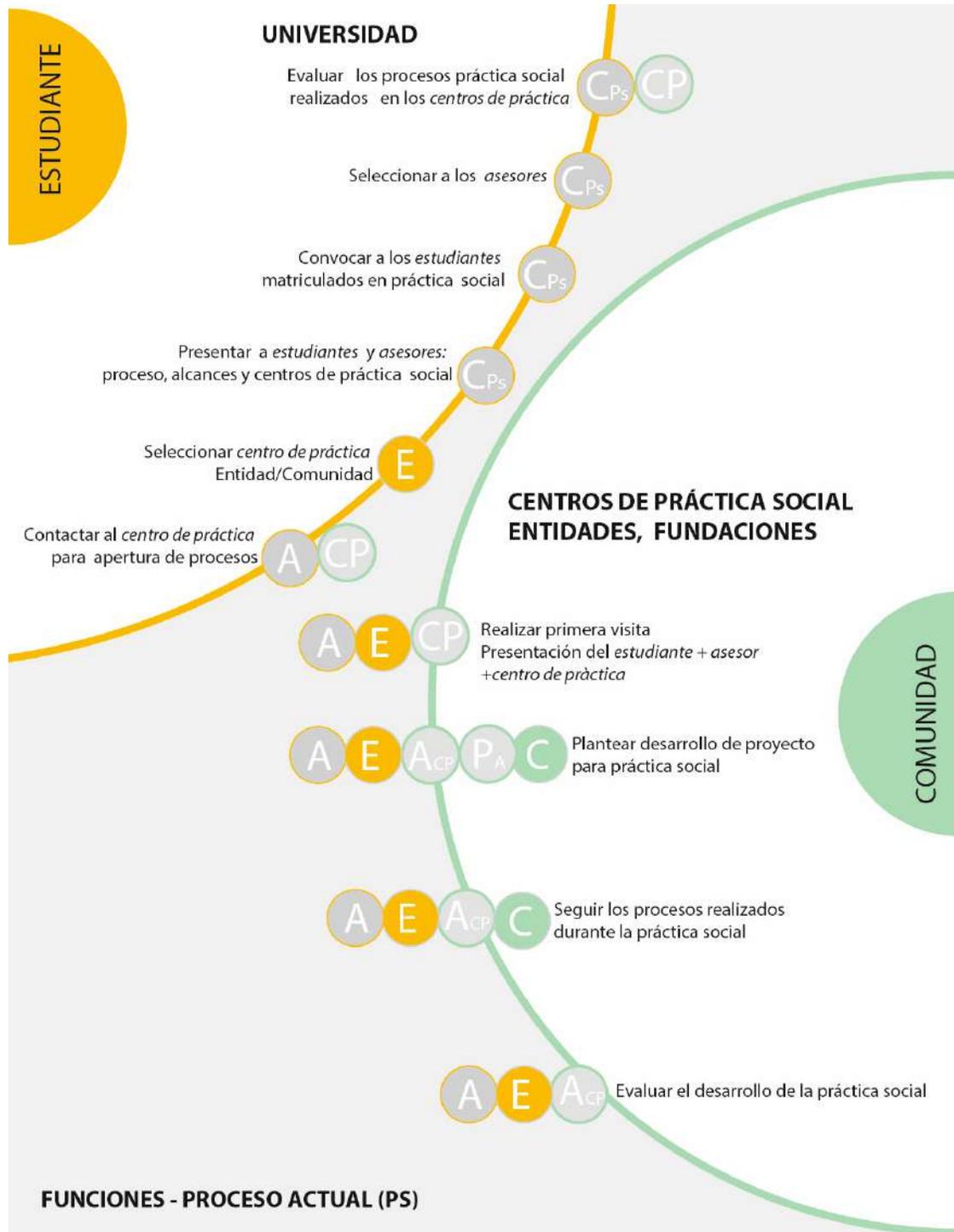
La práctica social involucra compromiso con las comunidades, esto implica para el proceso académico garantizar el cumplimiento total de los compromisos pactados en el inicio de la práctica ya que se realiza una inversión de tiempo, recursos y disponibilidad por parte de los Centros de Práctica Social, que en casos de deserción del estudiante, bajo desempeño o pérdida del curso afectaría directamente a las comunidades



**Figura 2. Ruta de procesos actual. Fuente: propia**

La Figura 3 muestra la función de los asesores como sujetos de alta participación en el proceso de práctica social ya que son los encargados de realizar el seguimiento al proceso formativo del estudiante y se comportan como asesores temáticos en el proyecto en temas disciplinares de la Arquitectura y el Diseño Industrial por lo tanto, deberían ser formados para esta función a través de encuentros previos programados por la Coordinación de Prácticas; de esta manera se garantiza

claridad para el desarrollo del curso. En esa medida la coordinación de prácticas debería dar continuidad a los aprendizajes de los asesores para prever los alcances de la práctica, el modo de acompañamiento, y trascender en los beneficios también para el asesor con relación a producción académica asociada a trabajos con comunidades.



**Figura 3. Funciones - proceso actual. Fuente: propia**

## La bitácora

El soporte documental del proceso realizado de práctica social es fundamental como evidencia del proceso para futuras mejoras y como soporte para dar claridad al proceso mismo en términos de alcances pactados, tiempos y compromisos asociados para todas las partes. Figura 4 se presentan los mecanismos actuales utilizados para el registro del proceso.



Figura 4. Gestión documental - proceso actual. Fuente: propia

## Formas de pensar las cosas

La práctica social vincula procesos de codiseño, los cuales establecen iniciativas de diseño en los nodos de esas redes de las que forman parte: un debate social en el que cada actor interactúa de diferente manera (desde la colaboración y/o el conflicto) y en diferentes momentos (en tiempo real o desconectado de la red). (Manzini, 2015, p. 63) Así mismo estos procesos de creación colaborativa manifiestan claramente las siguientes características:

- *Procesos altamente dinámicos* que si bien tienen un punto de partida tradicional con estructura lineal y en su estado básico utiliza el consenso para la creación, pueden ir un paso más allá y convertirse en procesos complejos e interconectados, desde las diferentes funciones del contexto académico docencia, investigación y proyección social donde todos los sujetos sean activos en los diferentes momentos del proceso creativo.

-Procesos constituidos por *actividades creativas y proactivas* donde el profesional en formación un papel de mediador (entre diferentes intereses) y de propiciador (de otros participantes, ideas e iniciativas) pero es también un sujeto activo desde su área de conocimiento que aporta su creatividad y su cultura como experto (es decir, su capacidad para ver grandes escenarios o propuestas originales de diseño) y la posibilidad que sirvan para desencadenar el debate social y alimentarlo con nuevas ideas.

-Procesos que consideran *actividades de diseño complejas* donde el estudiante se enfrenta a una lectura de contexto que abarca; la reinterpretación de información cualitativa y cuantitativa, la localización de información geográfica y la creación de herramientas que permitan ver las ideas; como unas ciertas taxonomías visuales para describir y mostrar las conexiones ocultas dadas en los escenarios de desarrollo de la práctica social. Estas visualizaciones deberían ser abiertas y conservar múltiples interpretaciones acerca de los fenómenos complejos de la realidad social; esto implica un acercamiento sensible de los estudiantes para comprender de modo más responsable la forma como el diseño puede intervenir

En coherencia con la afirmación de Echeverri (2016) el reto de llevar el aula a la calle trae consigo la participación de las ciencias sociales en los procesos de diseño, no imaginar al otro sino conocerlo y reconocerlo, el diálogo con otro que no soy yo, como posibilidad para llegar a acuerdos respecto a la realidad; además de valorar el conocimiento que se gesta en la informalidad, en la participación, en la intersubjetividad; la incertidumbre y la dificultad de planear; y especialmente hacer de las historias de vida de las personas el centro de los proyectos de diseño.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. DURALL-GAZULLA, T. L. E. (2014). Pensamiento de diseño y aprendizaje colaborativo, 1–8. Retrieved from <http://bibliotecadigital.usbcali.edu.co:2267/servlet/articulo?codigo=4525729>
2. LEONARD, D., & RAYPORT, J. F. (1997). Spark innovation through empathic design. Harvard Business Review. <http://doi.org/10.1080/15710882.2011.630472>
3. MANZINI, E. (2014). Making Things Happen: Social Innovation and Design Ezio Manzini. DesignIssues, 30(1). [http://doi.org/10.1162/DESI\\_a\\_00248](http://doi.org/10.1162/DESI_a_00248)

4. MANZINI E., JEGOU F., (2003), Sustainable every day. Scenarios of Urban Life. Milano:Edizioni Ambiente.
5. MANZINI, E. (2015). Cuando todos diseñan, una introducción al diseño para la innovación social. Madrid: Experimenta.
6. MARGOLIN, V., & MARGOLIN, S. (2002). A “Social Model” of Design: Issues of Practice and Research. Design Issues, 18(4), 24–30. <http://doi.org/10.1162/074793602320827406>
7. UNIVERSIDAD DE SAN BUENAVENTURA. (2007). Proyecto Educativo Bonaventuriano. Bogotá: Univesidad de San Buenaventura.
8. WYLANT, B. (2008). Design Thinking and the Experience of Innovation. Design Issues. <http://doi.org/10.1162/desi.2008.24.2.3>
9. PAPANEK, V. (1985). Design for the Real World: Human Ecology and Social Change. Londres:T hames and Hudson, 1985 (1971), p. ix-x
10. PELTA, R. (2011).Diseñar con la gente. Recuperado de [www.raco.cat/index.php/Temes/article/download/76580/105103](http://www.raco.cat/index.php/Temes/article/download/76580/105103)
11. THACKARA, J. (2005). In the bubble. Designing in a Complex World. Cambridge (Mss):MIT, Press, p. 1
12. SUBIRATS, J., BALDOSA, J. (2007) ¿Qué diseño para que sociedad?. Recuperado de [www.raco.cat/index.php/Temes/article/download/76581/105104](http://www.raco.cat/index.php/Temes/article/download/76581/105104)
13. ECHEVERRI, A. (2016) La calle y el taller de proyectos: Hacia la formación de un diseño situado en Colombia, recuperado de <http://coloquiodedisenio.faduaemex.org/2015/37.html>

## **2.5 TECNOLOGÍAS DE FRONTERA Y ECODISEÑO**

## **2.5.1 Desarrollo tecnológico basado en el software CES EDUPACK del diseño de un vehículo eléctrico para personas con discapacidad de América Latina.**

### **Luiz Antônio Pereira Machado Júnior <sup>(1)</sup>**

Maestrante en Diseño y Desarrollo de Producto por la Universidad Autónoma de Ciudad Juárez (México). Licenciado en Diseño por el Instituto Federal Sul-Riograndense, campus Pelotas (Brasil).

### **David Cortés Saenz**

Doctor en Proyectos de Innovación Tecnológica por la Universidad Politécnica de Cataluña (España). Coordinador de la Maestría en Diseño y Desarrollo de Producto de la Universidad Autónoma de Ciudad Juárez (México).

### **Armando Martínez de la Torre**

Maestro en Desarrollo de Productos por la Universidad de Guadalajara (México).

### **Cesar Omar Balderrama Armendáriz**

Doctor en Ciencias de la Ingeniería Industrial (México). Responsable del Laboratorio de Prototipado Rápido en la Universidad Autónoma de Ciudad Juárez – México.

### **Patricia Urquizo Monreal**

Maestrante en Diseño y Desarrollo de Producto por la Universidad Autónoma de Ciudad Juárez (México). Licenciada en Diseño Industrial por la Universidad Autónoma de Ciudad Juárez (México).

### **Ariadna Vázquez Cabrera**

Maestrante en Diseño y Desarrollo de Producto por la Universidad Autónoma de Ciudad Juárez (México). Licenciada en Diseño Industrial por el Instituto Superior de Diseño (Cuba).

**Dirección (1):** Calle Trompillo, 8411 – Infonavit Aeropuerto – Ciudad Juárez – Chihuahua – 32662 – México – Tel.: (656) 748-8599 – e-mail: [l.a.pereiramachado@hotmail.com](mailto:l.a.pereiramachado@hotmail.com)

## **RESUMEN**

Este artículo plantea la propuesta preliminar del desarrollo tecnológico de un vehículo eléctrico compacto para personas con discapacidad de América Latina a partir de la utilización del software CES EduPack. Apoyado en la metodología de los vectores de la forma, el desarrollo proyectual de esta propuesta se establece sobre cuatro vectores: expresivo, comercial, funcional y tecnológico. En este último se concentra la investigación, estableciendo parámetros para el desarrollo de las partes que se bifurca: materiales, procesos y costos. Por lo tanto, a partir del CES EduPack se propone los materiales estructurales del vehículo y su impacto de acuerdo con los conceptos de Ecodiseño y diseño centrado en el usuario.

**Palabras claves:** Vehículo eléctrico, CES EduPack, Ecodiseño, Diseño de Producto, Discapacidad.

## **INTRODUCCIÓN**

A partir de las reflexiones de Papanek (1985) es posible ver que actualmente se vive un disturbio recurrente, los problemas ambientales en que vive la humanidad atraviesan décadas y son cada vez más alarmantes. En tiempos en que la sociedad convive con la disminución de los recursos naturales y una gran producción industrial, diseñar nuevos productos genera cada vez más impacto social, demandando mayor responsabilidad al diseñador (Papanek, 1985).

El uso de herramientas para el Ecodiseño aplicadas al sector automotriz puede generar mejoras a partir de las siguientes reducciones: 1) en el peso global del vehículo, 2) de la potencia y en el peso de los motores y 3) de esfuerzos resistentes y pérdidas mecánicas, asimismo, también impacta en la aerodinámica, así como en los neumáticos de menor índice de rodadura, cambios de velocidades, entre otros aspectos que pertenecen a la función práctica del desarrollo de productos y también comprendida por el vector tecnológico.

Correlacionado a eso tenemos la aportación de la utilización de materiales que sean adecuados para atender las demandas anteriores. La deflación de materiales refleja que la tecnología eléctrica tiene la intención de someter el volumen del contenido tradicional para el desarrollo de un proyecto que busca la eficiencia. Sintéticamente, en este caso se aplica la expresión: *menos es más*. Con la intención de lograr el desarrollo del vector tecnológico de manera eficiente y concreta en esta investigación se utiliza el software CES EduPack después de hacer una contextualización referente a la complejidad que involucra el desarrollo de vehículos para personas con discapacidad.

El desarrollo de productos que facilitan la movilidad en general se ha estudiado de forma significativa, sin embargo, hay una parte de este campo, que es la movilidad de las personas con discapacidad, que merece más atención debido a su retraso en relación con lo que es desarrollado para las personas sin discapacidad, siendo este el tema de interés para esta investigación.

En la actualidad, muchas personas con discapacidad enfrentan problemas de movilidad y muchas veces esta dificultad está relacionada con la ausencia de equipos adecuados para sus actividades, donde se involucra el diseño inapropiado para la problemática contemporánea donde los materiales utilizados no son suficientemente resistentes o el diseño no cumple con eficiencia deseada, por ejemplo. Por lo general son actividades motoras sencillas obstaculizadas por la falta de infraestructura necesaria y equipos ineficientes. En el caso de los usuarios de sillas de ruedas, hay muchos episodios que producen vergüenza y problemas a causa de esta falta de infraestructura (Silvestre, 2010).

Por lo tanto, lo que propone este artículo es plantear la propuesta preliminar de un vehículo eléctrico compacto para personas con discapacidad en Latinoamérica teniendo los conceptos del ecodiseño como parámetros de investigación y utilizando como herramienta de desarrollo el software CES EduPack para diseñar una propuesta de materiales y costo de acuerdo con las premisas del Ecodiseño (Ecoeficiencia, Impacto ambiental y Diseño respetuoso con el medio ambiente) (Floril, 2015).

## **Ecodiseño**

El concepto-clave de diseño ecológico o el Ecodiseño abarca la consideración sistemática de la función de diseño con respecto a objetivos medioambientales, de salud y seguridad a lo largo del ciclo de vida completo del producto y del proceso (Floril, 2015). Este es aplicado como medida preventiva que supone un factor importante en la minimización del impacto ambiental, considerando

las siguientes ramificaciones del Ecodiseño: A) Sustentabilidad ambiental - La sustentabilidad es la capacidad de un sistema (o un ecosistema) de mantener constante su estado en el tiempo. La sustentabilidad ecológica o ambiental se logra cuando la relación hombre-medio se mantiene en equilibrio sobre la base de la equivalencia entre las cualidades de los materiales, energía e información del sistema intervenido, y las entradas sean estas naturales o artificiales.

Es decir, mantener equilibrada relación establecida entre el trabajo ejecutado por el hombre y los recursos que utiliza para lograr finalizar una tarea, destacando que la retroalimentación del propio sistema es muy importante en esta situación. B) Desarrollo sostenible – basado en tres valores: economía, sociedad y medio ambiente, es desarrollo que satisface las necesidades actuales sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades. C) Ecoeficiencia - maximiza el valor añadido a la vez que se reduce el impacto medioambiental y el uso de recursos y energías, a la vez que se consiguen beneficios económicos. Para lograr, actividades como reducir el consumo de energía y materias-primas en los productos, así como, fomentar la reutilización y reciclabilidad de los materiales son recursos desarrollados. D) Impacto ambiental - Modificación del ambiente ocasionado por la acción del hombre o de la naturaleza. Dentro del abordaje del Ecodiseño el impacto ambiental se desarrolla haciendo la ocupación del territorio y el aprovechamiento de recursos naturales renovables o no, de manera responsable, de la misma manera que hace la búsqueda por reducir la contaminación. E) Diseño respetuoso con el medio ambiente - Conjunto de técnicas utilizadas en el desarrollo de un producto para resolver los problemas que se presentan en su fabricación, montaje, inspección, embalaje, almacenaje, uso, y posterior mantenimiento y retiro. No piensa en solucionar solo la contaminación residual de los procesos de producción, sino que desea evitar dicha contaminación analizando todas las fases del ciclo de vida, de esta manera se determinará en qué etapa se genera mayor impacto, y posterior a esto plantear estrategias para reducir el impacto ambiental producido (Floril, 2015).

### **Método**

Planear el desarrollo de un vehículo debe considerar llevarse a cabo no solamente las características funcionales sino también las propiedades visuales, conceptuales y de confort. Puesto eso, esta investigación utiliza como tema principal el diseño centrado en el usuario y el diseño emocional para suministrar el plan metodológico de los vectores de la forma (VF), estructura de orientación para interrelacionar las tres funciones de los productos industriales (Löbach, 2001): práctica, estética y funcional.

La figura 1 presenta el desarrollo de la metodología utilizada por esta investigación y el impacto que el ecodiseño genera sobre cada vector propuesto por Morales (2004). El vector tecnológico es el responsable por la definición de los procesos, materiales y costos de ambos anteriores y con la visión de la herramienta del diseño ecológico es posible planear optimizaciones en los procesos de fabricación como la disminución de piezas, soldaduras, atornillados, ahorro de tiempo y energía de fabricación, así como el planteo de materiales que estén de acuerdo con los controles de energía del vehículo. El vector funcional es el responsable por la parte ergonómica y de mecanismos del vehículo.



**Figura 1. Impacto del Ecodiseño en la metodología de los vectores de la forma. Elaboración propia a partir de Morales (2004).**

La contribución del Ecodiseño en esta etapa se refiere a las mejoras de los recursos aplicables a la ergonomía, para disminuir los impactos negativos sobre la salud del usuario al interactuar con el vehículo. De la misma manera que la disminución del número de componentes eléctricos genera mejoras en el análisis de ciclo de vida. El vector expresivo tiene plena conexión con los dos anteriores, teniendo en cuenta que la aplicación del Ecodiseño en las partes anteriores será percibida por el usuario a partir de esta etapa, que se expresa con grande énfasis al interactuar con el usuario. Las estrategias de diseño ecológico vienen a contribuir para optimizaciones en el confort ambiental, es decir, del ambiente interno y externo del vehículo, y visual, buscando presentar una estética agradable y amigable con el medio ambiente. Todas las estrategias aplicadas hasta el momento van a reflejarse en el vector comercial cuyas herramientas de Ecodiseño serán responsables por la optimización de los ensambles y distribución del producto, así como en crear una identidad corporativa ecológica, buscando potencializar a los usuarios la imagen de vehículo amigable al medio ambiente.

### **Diseño Centrado en el usuario y diseño emocional**

El diseño centrado en el usuario se propone a comprender la participación de usuarios en las diferentes etapas de desarrollo del producto. Esta interacción considera como prioridad las necesidades detectadas en este proceso y, las sobreponen a la producción mercantil de naturaleza económica (Nicolás, 2016). La producción de un diseño centrado en el usuario explora los factores humanos en su totalidad, a partir de estudios del proceso cognitivo y procesamiento de estas informaciones (Mont'Alvão & Damazio, 2008). La identificación del perfil del usuario es la parte más significativa para el desarrollo de las funciones prácticas, pues a través de este resultado es que será posible desarrollar, primero, la generación del *moodboarding* y del personaje que servirán como referencial para la evaluación de las actividades cotidianas de los usuarios y, posteriormente, dar inicio al desarrollo de alternativas que atiendan a los anhelos del público investigado. Esta interacción creada entre investigador y usuario tiene carácter recíproco, de forma que "como el usuario evalúa es más que evaluar al usuario" (Mont'Alvão & Damazio, 2008, p.28).

El vehículo de transporte individual con accesibilidad busca proporcionar mejores condiciones de transporte para personas con discapacidad, de forma que ellos tengan mayor libertad para desplazarse sin la interferencia de intemperie o de limitaciones físicas. La producción de un medio de transporte atento para estos cuidados es producir "un agente de cambio en las costumbres y en la vida de las personas" (Larica, 2003, p.62). El alto impacto ocasionado por el proyecto se preocupa por la integridad física y la salud de sus futuros usuarios, buscando a través de un enfoque ergonómico, prever y resolver relaciones intrínsecas entre hombre y artefacto, así como entre el artefacto y los ambientes para los que fue diseñado.

Una relación efectiva entre usuario y producto depende de interpretaciones e interacciones con el medio físico y social con la intención de diseñar proponiendo experiencias agradables. "Las emociones, los estados de ánimo, los rasgos y la personalidad son todos aspectos de las diferentes maneras en que las mentes de las personas trabajan, especialmente a lo largo del ámbito afectivo y emocional" (Norman, 2004). Para alcanzar tal intención, esta investigación busca percibir los puntos positivos y negativos de las sillas de ruedas tradicionales, y también de los nuevos vehículos eléctricos. De acuerdo con Norman (2006, p.175) "las mejoras simples deberían ser posibles. Es de imaginar que los objetos simples, como los coches, los utensilios domésticos o los ordenadores, que se lanzan de forma periódica en nuevos modelos, podrían absorber los beneficios de la experiencia del modelo anterior". En otras palabras, Norman se refiere que la experiencia obtenida a partir del contacto del usuario con el producto necesita ser llevada a cabo, como manera directa de hacer modificaciones para que a ellos permanezcan relevantes y necesarios.

El diseño emocional, caracterizado como la condición de comprensión y traducción de las emociones humanas al interactuar con los productos (Norman, 2004), puede ser considerado en tres aspectos en nivel científico: fisiológico, social y psicológico. Estos aspectos pueden contribuir para un encaminamiento simbólico, visual y de confort del vehículo, una vez que estudian el placer corporal (fisiológico), de status (social) y mental (psicológico) (Tonetto & Costa, 2011). La utilización de estos conceptos intenta encaminar el usuario para que tenga buenas experiencias al percibir y utilizar el vehículo.

## Vectores de la forma

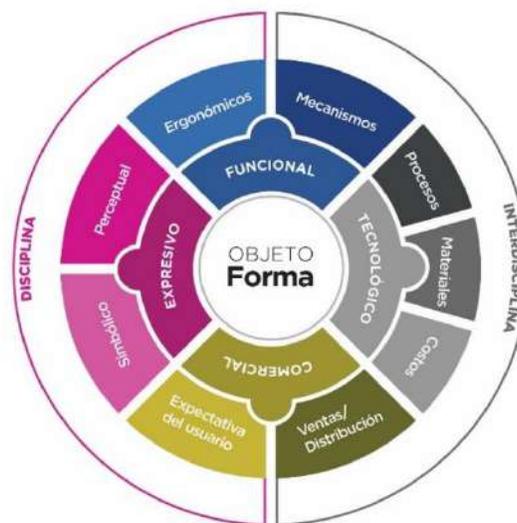


Figura 2. Vectores de la forma. Elaboración propia a partir de Morales (2004).

Con la intención de generar un proyecto interdisciplinar el autor sugiere una disminución del área de actuación del diseñador, para eso, acota su diagrama en dos partes: disciplina e interdisciplina, esto es, la parte izquierda define los conocimientos en que el diseñador debe expresar sus especialidades, mientras que la parte derecha (interdisciplina) son las áreas de los conocimientos interdisciplinarios donde no necesariamente el profesional tenga que ejercer una función de liderazgo.

En el proyecto desarrollado para el vehículo dual para personas con discapacidad se establece un grado de abordaje de cada aspecto relevante para el desarrollo de un nuevo producto con base en la literatura de Morales (2004) (figura 2).

### **Vector tecnológico: materiales, procesos y costos**

Como se pudo ver anteriormente el vector tecnológico contiene las siguientes subdivisiones: procesos, materiales y costos (figura 3) que, a su vez, tiene fuerte conexión con el subvector de mecanismos, ubicado en el vector de la función. Este conjunto, debido a su naturaleza de carácter más cuantitativo demanda conocimientos que provienen de la ingeniería, sea mecánica o de producción. Para suministrar la necesidad detectada y mejorar la ejecución de la investigación se aporta la utilización del software CES EduPack como fuente segura y confiable de informaciones a los materiales que se va a buscar para inclusión del desarrollo del vehículo.



**Figura 3. Vector tecnológico. Elaboración propia a partir de Morales (2004).**

En este estudio preliminar se lleva en consideración la necesidad de utilizar materiales ligeros y resistentes que cumplan con las normativas actuales de seguridad y que al mismo tiempo tengan la posibilidad de fornecer un aspecto confortable y atractivo, preservando los conceptos simbólicos y estéticos del producto.

### **Manejo de herramienta de ecodiseño: Estrategias de mejora**

Con la intención de optimizar las planeaciones orientadas al Ecodiseño de esta investigación se utilizó el método "Ideas de Mejora" (IHOBE, 2000), teniendo como plano de fondo las 8 estrategias para el Ecodiseño (1- Seleccionar materiales de bajo impacto; 2- Reducir el uso de material; 3- Seleccionar técnicas de producción ambientalmente eficientes; 4- Seleccionar formas de distribución ambientalmente eficientes; 5- Reducir el impacto ambiental en la fase de utilización; 6- Optimizar el Ciclo de Vida; 7- Optimizar el sistema de fin de vida; 8- Optimizar la función). El desarrollo empieza con una lluvia de ideas buscando las mejores soluciones en términos ambientales, en este momento no se admite críticas o razonamientos, apenas se expone todas las ideas generadas. Con los

aspectos ambientales definidos, después de la lluvia de ideas fue generada una tabla (tabla 1) donde se puede ver la resolución final tras agrupar y definir las prácticas de las medidas.

**Tabla 1. Aplicación de la herramienta Estrategias de Mejoras. Elaboración propia a partir de IHOBE (2000).**

Estrategias de Mejora		Tipos de Medidas Asociadas
<b>Obtención y consumo de materiales y componentes</b>	<b>1 - Seleccionar materiales de bajo impacto</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>&gt; Optimización de los materiales</li> <li>&gt; Uso de materiales de bajo impacto ambiental</li> </ul>
	<b>2 - Reducir el uso de material</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>&gt; Reducción del peso global del vehículo</li> <li>&gt; Reducción del volumen y peso de los motores</li> </ul>
<b>Producción en fábrica</b>	<b>3 - Seleccionar técnicas de producción ambientalmente eficientes.</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>&gt; Reducir el número de partes de ensamble</li> <li>&gt; Desarrollo del proyecto de manera modulable</li> <li>&gt; Mejora de la aerodinámica</li> <li>&gt; Disminución de componentes</li> </ul>
	<b>4 - Seleccionar formas de distribución ambientalmente eficientes.</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>&gt; Utilizar materiales de la región en que vaya a ser producido</li> </ul>
<b>Uso o utilización</b>	<b>5 - Reducir el impacto ambiental en la fase de utilización.</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>&gt; Reducción de la potencia</li> <li>&gt; Neumáticos de menor índice de rodadura</li> <li>&gt; Optimización de los controles de velocidades</li> </ul>
	<b>6- Optimizar el Ciclo de Vida.</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>&gt; Optimizar ciclo de vida técnico y estético del vehículo</li> <li>&gt; Optimización de impactos negativos en la salud de los usuarios</li> <li>&gt; Optimización del confort ambiental y visual del vehículo</li> <li>&gt; Estética agradable y amigable</li> <li>&gt; Imagen corporativa - potencializar la identidad de los usuarios al identificarse con conceptos ecológicos</li> </ul>
<b>Eliminación final</b>		<b>7- Optimizar el sistema de fin de vida.</b>
<b>Nuevas ideas de producto</b>	<b>8 - Optimizar la función.</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>&gt; Integración de funciones.</li> </ul>

El punto siguiente es definir la viabilidad de cada ítem a partir de una valoración y priorización de las ideas (IHOBE, 2000). Se lleva a cabo en este estudio los criterios considerados por el Manual Práctico de Ecodiseño (IHOBE, 2000), es decir, la viabilidad técnica, viabilidad financiera y beneficios esperados para el medio ambiente. La puntuación adoptada va de -2 a 2 y aplica su escala de la siguiente manera: -2, puntuación muy negativa (del todo inviable); -1, puntuación negativa (casi inviable); 0, puntuación neutra; 1, puntuación positiva (viable) y 2, puntuación muy positiva (muy viable). De la misma manera, se establece el plazo de aplicación, esto es, el grado de priorización, clasificado en corto (CP), medio (MP) y largo plazo (LP). La tabla 2 muestra el resultado obtenido relacionando las informaciones anteriormente recabadas. A partir del resultado encontrado se hizo las ponderaciones para los próximos pasos del desarrollo de esta investigación.

**Tabla 2. Control de viabilidad y priorización. Elaboración propia a partir de IHOBE (2000).**

<i>Estrategias de Mejora</i>		<i>Viabilidad técnica</i>	<i>Viabilidad financiera</i>	<i>Beneficios para el Medio Ambiente</i>	<i>Priorización</i>
<i>Obtención y consumo de materiales y componentes</i>	> Optimización de los materiales	2	1	2	CP
	> <b>Uso de materiales de bajo impacto ambiental</b>	1	1	2	<b>MP</b>
	> Reducción del peso global del vehículo	2	1	1	CP
	> <b>Reducción del volumen y peso de los motores</b>	2	1	1	<b>CP</b>
<i>Producción en fábrica</i>	> Reducir el número de partes de ensamble	2	2	1	MP
	> <b>Desarrollo del proyecto de manera modurable</b>	1	1	0	<b>LP</b>
	> Mejora de la aerodinámica	1	1	1	MP
	> <b>Disminución de componentes</b>	1	0	2	<b>CP</b>
<i>Distribución</i>	> Utilizar materiales de la región en que vaya a ser producido	0	0	2	MP
<i>Uso o utilización</i>	> <b>Reducción de la potencia</b>	1	1	1	<b>MP</b>
	> Neumáticos de menor índice de rodadura	2	2	2	CP

<b>Sistema de fin de vida Eliminación final</b>	<b>&gt; Optimización de los controles de velocidades</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>MP</b>
	> Optimizar ciclo de vida técnico y estético del vehículo	1	-1	0	LP
	<b>&gt; Optimización de impactos negativos en la salud de los usuarios</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>CP</b>
	> Optimización del confort ambiental y visual del vehículo	2	2	-1	CP
	<b>&gt; Estética agradable &gt; Utilización de materiales amigables y reciclables, cuando posible</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>LP</b>
	> Imagen corporativa - potencializar la identidad de los usuarios al identificarse con conceptos ecológicos	2	2	0	LP
<b>Nuevas ideas de producto</b>	<b>&gt; Integración de funciones.</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>CP</b>

El control de viabilidad y priorización ayuda la investigación a categorizar y jerarquizar las mejoras en el proyecto de acuerdo con el alcance de tecnología y recursos financieros. Parte de las aplicaciones para mejorar el producto de esta investigación parten de cambios en el *layout* del vehículo como, por ejemplo, la mejora de la aerodinámica, la integración de funciones y la estética agradable. Sin embargo, las aplicaciones de materiales, aunque posibles, recibieron clasificación 1 (positiva) pero no en tiempo inmediato, una vez que hay la necesidad de generar un producto cuyo precio de mercado no sea demasíadamente alto.

### Propiedades y selección de los materiales

Las propiedades de los materiales tienden a sufrir determinados cambios de acuerdo con el tipo de tecnología de manufactura que se busca trabajar. Hasta el momento de esta investigación se presenta un panorama de posibles materiales para componer la carcasa del vehículo. Teniendo en cuenta el tiempo de desarrollo disponible se hizo necesario elegir un componente para delimitar esta etapa y presentar el método que será adoptado para todas las demás piezas que serán fabricadas. La elección por la carcasa se dio por el hecho de que este es el componente de mayor volumen y será uno de los principales responsables por la imagen externa de este proyecto.

Antes de empezar las pruebas generadas por el software CES EduPack esta investigación ha pasado por una exploración bibliográfica para generar un rango de materiales que comprenden los siguientes factores principales: resistencia térmica y mecánica, densidad y precio. Asociado a estos

factores naturales se agrega las condiciones extraídas de la herramienta *Estrategia de Mejoras* para búsqueda de mejores resultados con menor impacto ambiental. A partir del panorama creado por los fue posible generar

La traducción de los requerimientos de diseño fue generada tras los vectores de la forma. Este es el primer paso para comenzar la estrategia de selección de materiales (Ashby, 2011). En la figura 4 el proceso que empieza teniendo todos los materiales pasa por cuatro filtros hasta la elección final, este método, sintéticamente, describe los resultados investigados por el diseñador, sus respectivas restricciones o necesidades del producto, el objetivo que conlleva la búsqueda de los materiales adecuados y la documentación técnica del material o conjunto de materiales.



**Figura 4. Proceso de traducción de necesidades y selección de materiales. Elaboración propia a partir de Ashby (2011).**

Ashby (2011) sugiere que el proceso de selección de materiales empiece a partir de la generación de un rango. Éste, a su vez, es formado por cuatro elementos principales: familia de materiales, función, forma y procesos, a estos se suma las propiedades ambientales como criterio de evaluación. En el primer ítem – familia de materiales – se puede plantear el comienzo de la selección por las restricciones de descarte. La búsqueda de la clase de materiales que componen cada familia es un proceso rápido e intuitivo determinado por los conocimientos empíricos y técnicos con respeto al tema, es decir, determinar el tipo de familia de materiales no cuesta mucho tiempo, una vez que los requerimientos básicos del producto ya excluyen determinadas familias.

A grandes rasgos los materiales son clasificados en las siguientes familias: a) metales, b) polímeros, c) elastómeros, c) vidrios, d) cerámicos e, e) híbridos (Ashby, 2011). El autor comenta que es importante empezar con un menú de materiales con buen número de opciones a elegir. La ausencia de esta etapa puede generar pérdidas para la investigación y, si la propuesta es apoyarse en nuevos materiales, de carácter innovador, la toma de decisiones debe ser realizada al principio del proyecto. Ashby (2011) también defiende que es importante tomar en cuenta los requerimientos de la investigación, proceso realizado en el análisis de la estrategia de mejora (establecida tras los requisitos del proyecto).

El ítem función empieza con los objetivos determinados para selección, esto es, analiza de manera más detallada los requerimientos necesarios para el desarrollo del producto, mientras que la forma viene a delimitar la elección, evaluando la necesidad de un material rígido o blando, grado de espesor, calidad estética, etcétera. Mientras que el proceso de fabricación, antes de las propiedades ambientales, va a hacer el factor determinante para la acotación de los materiales disponibles y adecuados.



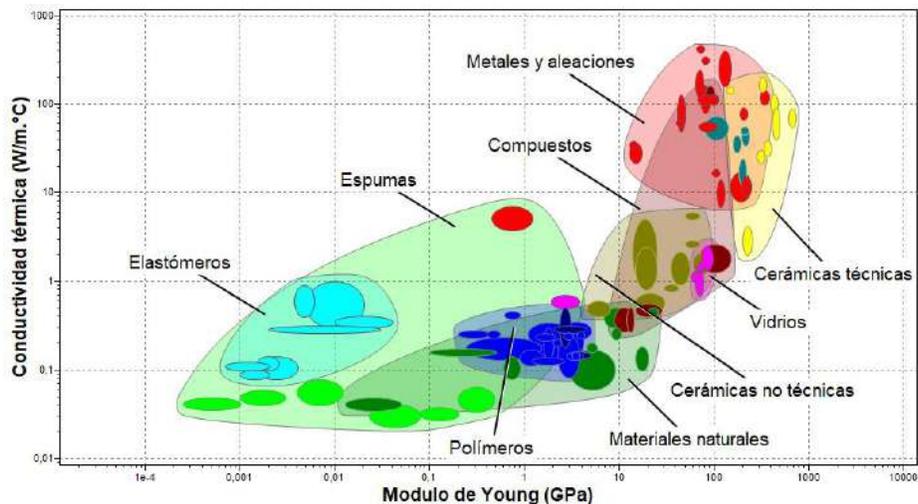
**Figura 4. Familia de materiales con destaque en las utilizadas en esta investigación. Elaboración propia a partir de Ashby (2011).**

En la práctica, la elección de la familia de los materiales y la función son dos procesos que tienen fuerte relación uno sobre el otro, una vez que ambos evalúan las propiedades que cada materia-prima presenta. En la figura 5 se puede ver el conjunto de las familias de materiales propuestas por Ashby (2011) y el destaque en las que fueron electas por los parámetros de resistencia, densidad y precio adecuados al proyecto. La tabla siguiente muestra los parámetros utilizados para la acotación del universo de materiales en esta investigación.

**Tabla 3. Factores relevantes para acotación de materiales durante la selección. Elaboración propia a partir de Ashby (2011).**

<b>VEHÍCULO ELÉCTRICO PARA PERSONAS CON DISCAPACIDAD DE AMÉRICA LATINA</b>	
Material	Polímeros y Metales
Función	Resistencia, Densidad, Precio
Forma	Que permita curvarse generando formas ovaladas sin pérdida de resistencia
Procesos	Métodos innovadores de manufactura, como la aditiva
Condiciones ambientales	Minimización del descarte de residuos y desperdicio de materiales Ser reciclado o ser reciclable

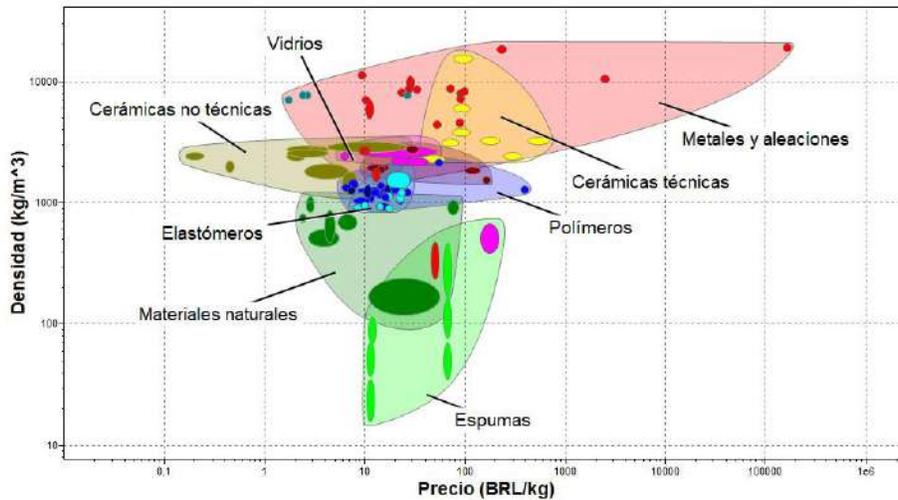
Puesto el establecimiento de dos familias de materiales, de esta etapa en adelante se enfoca apenas al que dice respecto a los metales (y aleaciones) y los polímeros. En la primera comparación realizada (figura 6) a partir de la base de datos del software CES EduPack se evaluó la resistencia térmica (conductividad térmica) y la resistencia mecánica (módulo de Young). A partir de la tabla generada es posible analizar que los metales tienen mayor transmitancia térmica que los polímeros, hecho que desfavorece a esta familia para elección en este proyecto. Sin embargo, el módulo de Young de los polímeros es más bajo, es decir, tiene menor rigidez que los metales.



**Figura 6. Comparación entre la resistencia térmica y la resistencia mecánica de los materiales. Elaboración propia a partir de CES EduPack.**

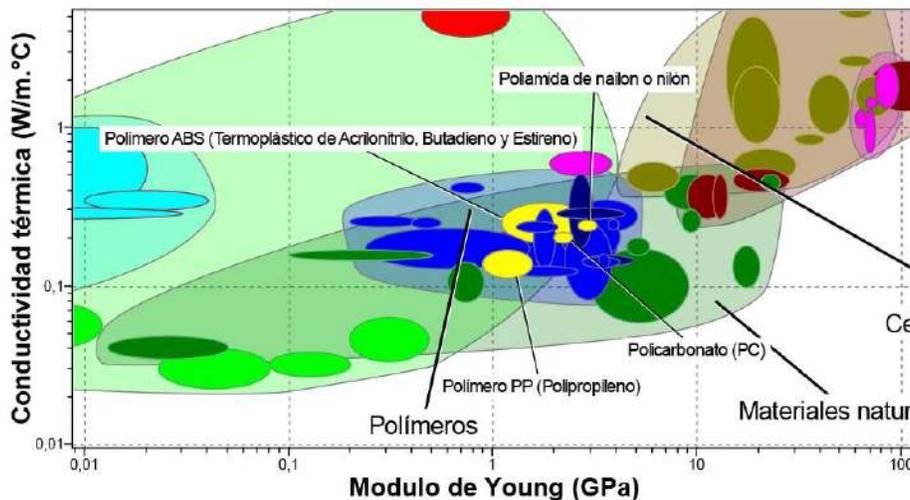
Al analizar la densidad y el precio (figura 7) se puede concluir que la mayor parte de los metales y aleaciones están prácticamente en el mismo rango de precio que los polímeros. Los polímeros, todavía, se encuentran en un rango de precio ligeramente más bajo, empezando con el PET (R\$ 5,88)<sup>3</sup> mientras que el metal más accesible es el plomo comercial (R\$ 8,90).

<sup>3</sup> El software CES EduPack genera el rango en *reais*, moneda brasileña.



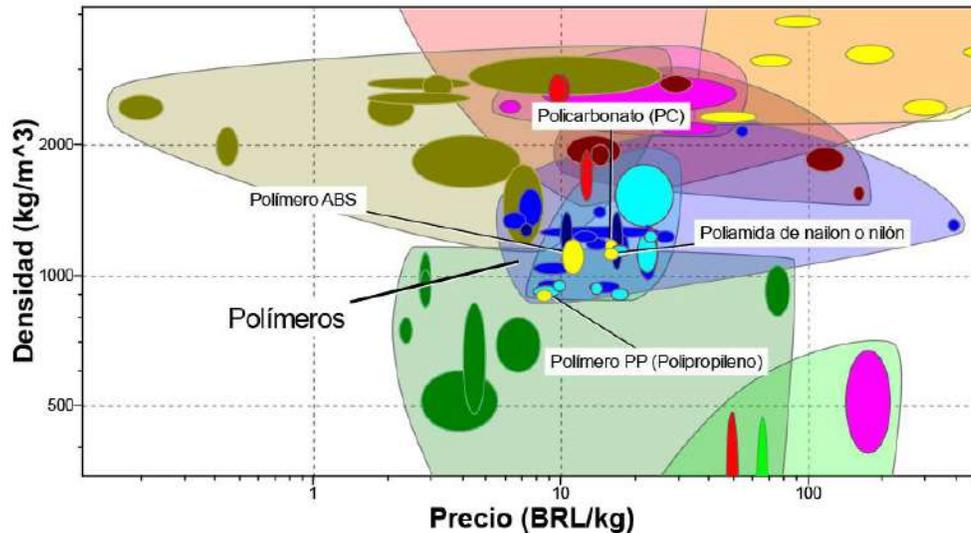
**Figura 7. Comparación entre la densidad y el precio de los materiales. Elaboración propia a partir de CES EduPack.**

El rango de materiales disminuyó considerablemente entre el tercero y el cuarto factor del análisis, principalmente al examinar los materiales disponibles para impresión en manufactura aditiva. De acuerdo con los recursos disponibles para desarrollo de esta investigación los materiales que llegaron hasta esta etapa de la selección fueron el polipropileno (PP), el ABS, el nailon y el policarbonato. Buscando ahorrar tiempo en la investigación se hizo la búsqueda de informaciones con respecto a las características ambientales. No fue sorpresa que los cuatro polímeros tenían la capacidad de ser reciclables. Las imágenes siguientes (figuras 8 y 9) presentan la ubicación exacta de los materiales seleccionados en las tablas de resistencia térmica versus mecánica (figura 8) y también de densidad versus precio (figura 8). Tras la necesidad de acotar las alternativas de materiales, en esta etapa se busca llegar a dos materiales de los cuatro que quedaron y, a partir de eso, llegar a apenas uno.



**Figura 8. Comparación entre resistencia térmica y mecánica de los polímeros seleccionados. Elaboración propia a partir de CES EduPack.**

En la comparación entre conductividad térmica y módulo de Young es posible destacar que el Polipropileno (PP) tiene el menor índice de transmitancia (entre 0,113 y 0,167 W/m °C) lo que le caracteriza como un buen aislante térmico. Sin embargo, el PP presenta la resistencia más baja de los cuatro materiales (entre 0,896 y 1,55 GPa), mientras que el nailon ostenta la mayor resistencia entre los polímeros comparados (entre 2,6 y 3,2 GPa).



**Figura 9. Comparación entre densidad y precio de los polímeros seleccionados. Elaboración propia a partir de CES EduPack.**

En la figura 9 se puede apreciar que el PP es el material de precio y densidad más bajos que los demás seleccionados, haciendo de éste el material con mejores características para se fabricar la carcasa del vehículo que se propone. La tabla 4 presenta las informaciones detalladas en números de los cuatro materiales seleccionados y ayuda a crear un rango de opciones secundarias. El Polipropileno (PP) es el único material que se posiciona con 3 mejores características de las cuatro analizadas. Para determinar los demás materiales se llevó en consideración las necesidades expuestas por los requerimientos de diseño y fue establecido una jerarquía entre los 4 cuatro parámetros, siendo esta la siguiente, en grado de mayor para menor importancia: densidad, precio, módulo de Young y Conductividad térmica. El resultado encontrado determina que seguido del polipropileno viene el ABS como segunda opción y consiguientemente, nailon y policarbonato.

**Tabla 4. Información técnica de los materiales evaluados para desarrollo del vehículo. Elaboración propia a partir de CES EduPack.**

	Conductividad térmica (W/m °C)	Módulo de Young (GPa)	Densidad (Kg/m <sup>3</sup> )	Precio (R\$) BRL
<b>ABS</b>	0,188 – 0,335	1,1 – 2,9	1,01 – 1,21	10,1 – 12,1
<b>PC</b>	0,189 – 0,218	2 – 2,44	1,14 – 1,21	15,1 – 16,5
<b>PP</b>	<b>0,013 – 0,167</b>	0,896 – 1,55	<b>890 – 910</b>	<b>7,95 – 9,08</b>

## Resultados

Tras la interpretación de la tabla 4 el resultado encontrado en la investigación presentó como alternativas de material para fabricación del vehículo un grupo de polímeros, teniendo el polipropileno (PP) como primera alternativa seguido de ABS, nailon y policarbonato. Esta definición se dió, principalmente por el hecho de que se eligió los métodos innovadores de manufactura para fabricación de la carcasa del vehículo, sobre todo porque estos métodos prácticamente no generan desperdicio de materiales o residuos durante el maquinado. Se tiene conocimiento de que estas tecnologías ya son capaces de fabricar productos con materiales metálicos, sin embargo, esta investigación no dispone de tales recursos y, por eso, no fue considerado.

Contrastando la información con fuentes recabadas de productos existentes se destaca el polipropileno, material que tanto aparece en la gráfica como también es utilizado para construcción de piezas del Renault Twizy (El Coche del Futuro, 2015). Además de este material también fue utilizado el ABS para composición de partes del vehículo eléctrico de Renault (figura 9), dato que confirma los fundamentos llevados a cabo en esta investigación.

De acuerdo con la investigación realizada el vehículo deberá tener la carcasa de material polimérico para reducir el peso y el precio final. Los polímeros ya poseen las características de resistencia y durabilidad suficiente para ser aplicados en este tipo de vehículo. La investigación deberá continuar para evaluación del tipo de recubrimiento se va a utilizar para mantener la apariencia y propiedades de los materiales por más tiempo.



**Figura 9.** Renault Twizy, partes en naranja y blanco están hechas en material polimérico (El Coche del Futuro, 2015).

## Conclusiones

A partir del proceso de inclusión del Ecodiseño como herramienta y concepto para diseñar con responsabilidad el proyecto pudo plantear soluciones desde la parte conceptual, donde se trabajó para generar un vehículo eléctrico compacto y de bajo costo alineado con las tendencias de movilidad personal. En México son 278 vehículos para cada 1000 habitantes (Banco Mundial, 2018),

es la segunda mayor tasa de automóviles de Latinoamérica, quedando atrás apenas de Argentina, con 315 para cada 1000. Hay capitales mexicanas que llegan a tener un auto por persona (Ruiz, 2018), situación que además de generar diversos problemas de tránsito también genera complicaciones ambientales, como la emisión de CO<sub>2</sub> y la extracción de recursos naturales finitos.

Se llevó en consideración las propiedades físicas de los materiales como, por ejemplo, la densidad como parámetro para utilizar materias primas más ligeras que permiten reducir el consumo de energía eléctrica necesaria para conducir el vehículo. Asimismo, esta investigación aun propone la reducción del consumo de energía eléctrica a través de la utilización de materiales ligeros y la disminución de piezas y ensambles, por medio del manejo de los procesos innovadores de manufactura.

El proyecto permanece en desarrollo y se tiene planeado para la próxima etapa la realización conceptual de un prototipo, donde la aplicación del Ecodiseño será reflejada de manera efectiva.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ashby, M. (2011). *Materials Selection in Mechanical Design* (4th ed.). Kidlington: Elsevier.
- Banco Mundial. (2018). Países de América Latina con más vehículos por cada 1000 habitantes. Retrieved July 20, 2018, from <https://infogram.com/paises-de-america-latina-con-mas-vehiculos-por-cada-1000-habitantes-1g143mn0x1x4pzy>
- El Coche del Futuro. (2015). El Renault Twizy paso a paso. Retrieved January 28, 2018, from <https://elcochedelfuturo.wordpress.com/2015/05/14/el-renault-twizy-paso-a-paso/>
- Floril, M. del R. P. (2015). *Contribución al análisis ergonómico y el ecodiseño del equipamiento educativo para la sistematización de su proceso de diseño. Caso de estudio del subsistema silla-mesa orientado a la discapacidad motriz*. Universidad Politécnica de Valencia.
- IHOBE. (2000). *Manual Práctico de Ecodiseño. Operativa de Implantación en 7 pasos*. Bizkaia: Sociedad Pública de Gestión Ambiental.
- Larica, N. J. de C. (2003). *Design de automóveis: Arte em função da mobilidade* (1st ed.). São Paulo: 2AB.
- Löbach, B. (2001). *Design industrial: Bases para a configuração dos produtos industriais*. São Paulo: Edgard Blücher.
- Mont'Alvão, C., & Damazio, V. (2008). *Design Ergonomia Emoção* (1st ed.). Rio de Janeiro: Mauad X.
- Morales, L. R. (2004). *Diseño: Estrategia y Táctica*. México: Siglo XXI editores.
- Nicolás, J. C. O. (2016). Diseñando el cambio . La innovación social y sus retos. *Economía Creativa*.
- Norman, D. (2004). *Emotional Design: Why we love (or hate) everyday things* (1st ed.). New York: Basic Books.
- Norman, D. (2006). *O design do dia-a-dia*. Rio de Janeiro: Rocco.
- Papanek, V. (1985). *Design for the Real World: Human Ecology and Social Change* (2nd ed.). Chicago: Thames & Hudson.

- Ruiz, V. (2018). Autos para una sola persona. Retrieved July 20, 2018, from <https://www.diariodequeretaro.com.mx/local/autos-para-una-sola-persona-1669379.html>
- Silvestre, E. (2010). Mobilidade é maior problema da pessoa com deficiência no Brasil. Retrieved July 4, 2015, from <http://g1.globo.com/bom-dia-brasil/noticia/2010/04/mobilidade-e-maior-problema-da-pessoa-com-deficiencia-no-brasil.html>
- Tonetto, L. M., & Costa, F. C. X. da. (2011). Design Emocional : conceitos , abordagens e perspectivas de pesquisa. *Strategic Design Research Journal*, 4(December), 132–140. <https://doi.org/10.4013/sdrj.2011.43.04>

## **2.5.2 Análisis comparativo de impacto ambiental de tableros aglomerados de madera con fines de reciclaje en la Ciudad de Bucaramanga.**

### **Aura Karina Reyes Echeverría <sup>(1)</sup>**

Diseñador Industrial de la Universidad Industrial de Santander - UIS; Maestría en Ciencias y Tecnologías Ambientales de la Universidad Santo Tomas, seccional Bucaramanga.

### **Luis Eduardo Bautista Rojas**

Diseñador Industrial de la Universidad Industrial de Santander - UIS; Maestría en Ingeniería de Sistemas e Informática de la Universidad Industrial de Santander, Doctorado en Ciencias de la Computación, Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga.

### **Miguel Enrique Higuera Marín**

Diseñador Industrial de la Universidad Nacional Colombia, Bogotá; Especialización en Gerencia de La Producción Mejoramiento Continuo, UIS, Maestría en Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente la Universidad de Manizales, Doctorado en Diseño, Universidad de Palermo, Argentina.

### **Luis Carlos Quintero Cárdenas**

Diseñador Industrial de la Universidad Industrial de Santander – UIS, seccional Bucaramanga.

**Dirección (1):** Calle 68ª 37 -39 Edificio Paimaná –Apartamento 501 - Barrio La Salle- Bucaramanga - Santander - Código Postal - Colombia - Tel.: (+57) 6437987– e-mail: [akreyes42@gmail.com](mailto:akreyes42@gmail.com)

## **RESUMEN**

En la ciudad de Bucaramanga (Colombia), la actividad de sector industrial del mueble y madera genera residuos de tableros aglomerados (MDF y MDP), que son desechados al vertedero municipal de basuras sin ningún tratamiento. Este tipo de materias primas están elaboradas con madera, resinas y aditivos como el formaldehído, que por su estabilidad química hacen que el material tenga una degradación lenta. El objetivo de este trabajo es determinar cuál de los dos materias primas aglomeradas es el generador de mayor cantidad de residuo e impacto ambiental en la ciudad. Metodológicamente se estudian tres fases: en la fase 1, se genera una cuantificación por peso para establecer la materia prima que genera mayor volumen de residuo. En la fase 2, se estudian los perfiles ambientales, con el fin de conocer la composición y el costo ambiental de su fabricación. Por último, en una fase 3, se realiza un comparativo con los datos obtenidos en la fase 1 y 2, para determinar el la materia prima que genera mayor afectación medio-ambiental. Este caso de estudio, permitirá realizar un diagnóstico para orientar la aplicación de estrategias para la disposición adecuada de los residuos de este sector industrial.

**Palabras claves: Madera, Medio ambiente, Impacto, Reciclaje, Residuos.**

## **INTRODUCCIÓN**

En Colombia el sector del mueble y la madera ha incrementado el uso de materias primas aglomeradas para la elaboración de productos. Actualmente, se usan materias primas como el tablero de fibra de mediana densidad (Medium Density Fiber Board - MDF) y el tablero de partículas de mediana densidad (Medium Density Particle Board - MDP), siendo las principales materias primas de madera procesada utilizadas para el diseño de mobiliario en el país. Dentro del proceso de transformación, se genera gran cantidad de residuo, proveniente de la transformación del tablero, usados para su posterior ensamble de muebles. Se realiza una optimización de material en el diseño,

utilizando software de modelado 3D y software de despiece de material . El residuo resultante, es categorizado en tres tipos: primero, el material particulado que se caracteriza por ser la menor partícula obtenida del corte o conocido como el polvo de madera (PM10); segundo, el retal aprovechable que son las piezas de tablero con tamaños mayores de 30x30 centímetros; y por último, el retal desperdicio que son piezas desechadas por su tamaño y mala calidad (Garcia & Freire, 2014). En la industria local este residuo resultante es enviado al vertedero municipal sin previo tratamiento o clasificación, y se caracterizan por ser difíciles de reciclar, de acuerdo con la Agencia de Protección Ambiental (EPA), debido a las técnicas de producción utilizadas en su fabricación, (Cartmell, 2017).

Se identificaron varias situaciones que afectan directa e indirectamente a la industria y a la comunidad en general. A continuación se describen dos de las situaciones identificadas:

- Se genera un impacto medio ambiental por acumulación de residuos en los vertederos municipales, además de afectaciones como eutroficación y acidificación de suelo, (Reimann, Paulsson, Wikström, & Weaving, 2013).
- El 40% de la economía mundial se basa en productos biológicos (Licona, 2006), el sector de la madera se beneficia directa o indirectamente de la variedad de los recursos ecológicos y realiza un gasto energético para la elaboración de la materia prima comercializada.

El trabajo se realizó con una metodología por tres fases, una fase de prueba donde se realiza una cuantificación de peso de material con una previa separación en la fuente, en una empresa representativa de la región, para determinar la cantidad de material residual acumulada en un mes, una segunda fase de identificación, donde se realiza un estudio de los perfiles ambientales del MDF y MDP, y una tercera fase de análisis comparativo, de los resultados obtenidos en la fase uno y dos, con el fin de lograr como resultado el material con mayor impacto ambiental.

Por último, el propósito del estudio es hacer un diagnóstico de la materia prima que genera mayor afectación, con esto se pueden generar estrategias y proponer cambios en el sector para reducir el impacto ambiental.

### **Objetivo General**

Generar un diagnóstico del impacto ambiental de los dos productos aglomerados de madera, MDP y MDF, con fines de reciclaje en la ciudad de Bucaramanga

### **Metodología**

La metodología de este trabajo se propone en tres fases, la primera fase llamada Prueba, la fase dos de identificación y la fase tres de Análisis.

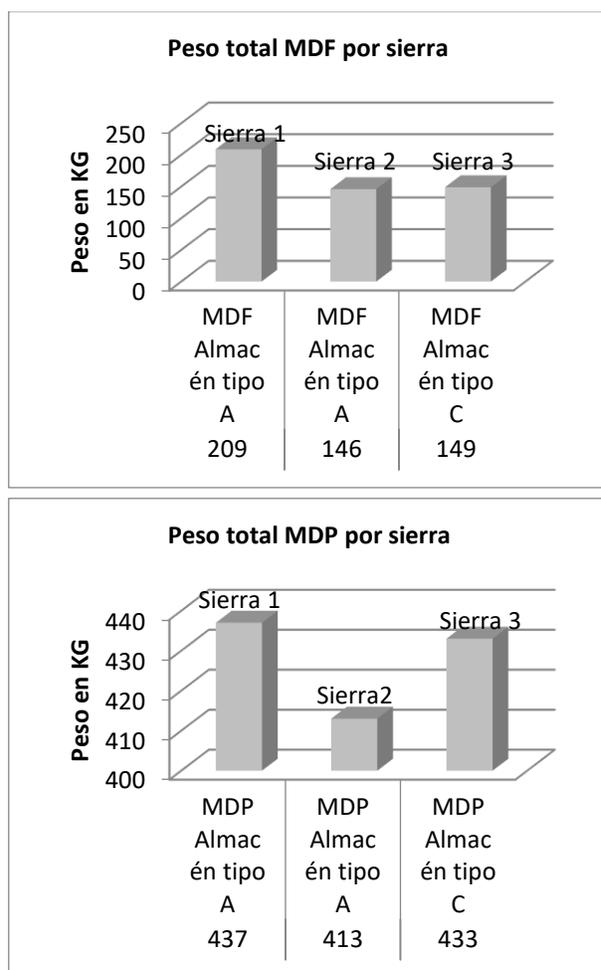
En la Fase 1, Prueba, se realiza una cuantificación por peso de material residual, donde se realiza una separación en la fuente, se diseña un protocolo para la ejecución de la prueba en la empresa, y una ejecución, donde se pesa el material por báscula en un periodo de tiempo, teniendo resultados de peso de cada uno de los materiales analizados.

Seguidamente en la Fase 2, Identificación, se realiza un estudio de los perfiles ambientales, donde se visualiza con claridad la composición de los productos analizados y sus efectos en el medio ambiente.

Por último en la Fase 3, Análisis, se genera un comparativo de los resultados de la fase 1 y la fase 2, con el fin de identificar entre los dos materiales estudiados, cual es el residuo que genera mayor impacto medio-ambiental.

## Fase 1 Prueba

La recopilación de la información se realizó siguiendo un diseño experimental, primero se diseña un protocolo con un formato donde se registra información del personal que realiza la actividad, los puntos de venta analizados, la secuencia de tiempo, las herramientas de uso para el peso y conteo del material, con el fin de poder cuantificar los resultados. Segundo, se establece el periodo de tiempo para la muestra, la cual se realiza por un mes, recolectando el material cada dos días, en tres sierras de corte de tablero, dentro de dos almacenes de la empresa Madecentro Colombia S.A.S, empresa comercializadora de productos para el sector del mueble y la madera, tercero se analizan los resultados de la prueba donde se tiene un promedio de material residual que es transportado al relleno sanitario o dispuestos por la empresa de aseo Rediba de Bucaramanga. Se obtiene por la separación en la fuente, como se observa en la figura 1, por cada sierra de corte una cantidad de material determinado en KG, en total 504 Kg de MDF y 1283 Kg de material MDP.



**Figura. 1** Resultados de prueba de peso en tres sierras de corte en un mes, total MDF y MDP según corresponde.

## Fase 2 Perfiles Ambientales

Los perfiles ambientales analizados fueron realizados y regulados por la EPD® (Environmental Product Declaration) quien genera un documento registrado y verificado de manera independiente que contiene información transparente y comparable sobre el impacto medioambiental de los productos durante el ciclo de vida, (EPD, 2018)

Algunos aspectos analizados y que son los problemas ambientales más asociados a la fabricación de tablero de madera son: a) Emisiones a la atmósfera, b) Aguas residuales, c) Materiales peligrosos, y d) Residuos sólidos. Para la realización del perfil ambiental de un producto se parte del Análisis del Ciclo de Vida (ACV), el cual está normalizado por las series ISO 14040 y 14044. Y se divide en cinco etapas de análisis: el primero (a) es la extracción de los recursos naturales (materias primas); (b) la fabricación de los productos; (c) el embalaje y la distribución; (d), el uso y el mantenimiento del producto; y (e), la disposición, donde como estrategias de fin de vida aplicables se tiene el reúso, el reciclaje, la recuperación o disposición en vertederos, incineración, etc. (Silva, 2012). También, para el perfil ambiental del MDP se tuvo en cuenta la norma ISO 14025, y EN 15804, además de las nombradas anteriormente. Para el caso del análisis del MDF la declaración ambiental del producto cumple con las normas ISO 14025, ISO 14040, ISO 14044, EN 15804.

### Fase 3 Comparativo de datos

Se realiza un comparativo de datos como se puede observar en la tabla 1, teniendo en cuenta los impactos significativos que afectan ambientalmente al generar residuos de material MDF y MDP.

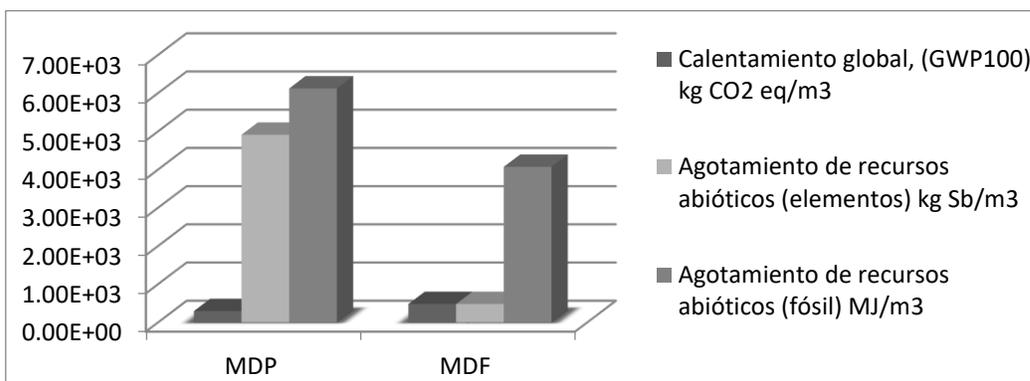
**Tabla 12 Cuadro comparativo de datos MDP-MDF.**

Impactos	MDF	MDP	Indicadores
Calentamiento global, (GWP100)	6,00E+02	2,96E+02	kg CO2 eq/m3
El calentamiento global, (GWP100) incluyó almacenamiento biogénico [kg CO2 eq / m3]	5,97E+02	-----	kg CO2 eq/m3
Agotamiento de ozono	3,64E-01	1,78E-01	kg CFC 11 eq/m3
Acidificación de tierra y agua	2,53E+00	6,24E+00	kg SO2/m3
Eutrofización	7,72E-01	1,18E+00	kg PO43- eq/m3
Creación de ozono fotoquímico	1,38E-01	1,31E-01	kg C2H4 eq/ m3
Agotamiento de recursos abióticos (elementos)	6,76E+03	3,28E+03	kg Sb/m3
Agotamiento de recursos abióticos (fósil)	5,08E+03	4,09E+03	MJ/m3

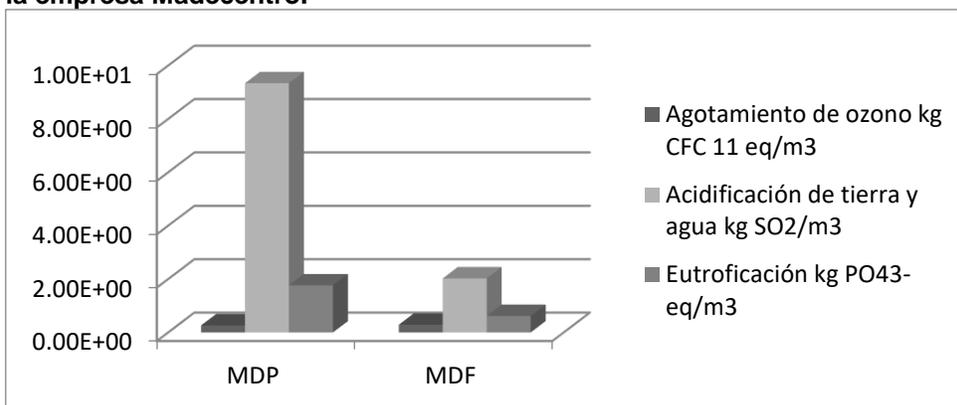
\*La unidad funcional en consideración es 1 m3 de MDP y MDF en crudo.

Teniendo en términos de volumen los porcentajes de MDP y MDF que se generan como residuos dentro de la empresa, se calculan los impactos generados en el volumen de material residual generado en un mes por la empresa Madecentro Colombia S.A.S, en dos almacenes de Bucaramanga, se ilustran los impactos como el calentamiento global, el agotamiento de los recursos

abióticos en términos de elementos y fósiles, la acidificación de agua y tierra, eutrofización, y el agotamiento de capa de ozono, figura 2 y figura 3, donde el agotamiento de recursos abióticos y la acidificación en suelo tiene mayor afectación.



**Figura 2. Impactos generados en el volumen de material de residuos en un mes de prueba de la empresa Madecentro.**



**Figura 3. Medida de impactos generados en un mes de residuos de aglomerado.**

### Resultados Obtenidos

Se obtuvo como resultado en la prueba de peso, un 59.48% de material residual de MDP y el 40.52% de material residual de MDF. Por otro lado, en el análisis de perfiles ambientales se tiene que la producción de emisiones de gases de efecto invernadero, agotamiento de ozono, acidificación y eutrofización son los impactos ambientales más representativos en la generación de estos residuos en vertederos municipales, así mismo, se obtienen los datos de impactos del material residual recolectado en un mes de MDF y MDP, generando el MDP un 68% total de daño en emisiones y el MDF un 32% total de emisiones perjudiciales.

### Discusión de resultados

Los resultados indican mayor impacto ambiental en el producto MDP en la prueba de peso y el análisis de perfiles ambientales, sin embargo en los dos productos, se ha comprobado que la resina con el componente Formaldehído es el mayor contribuyente a los impactos ambientales, representando el 77,7% de los impactos potenciales. (Silva, 2012). Por lo tanto, se evidencia la necesidad de minimizar el impacto de residuos de madera procesada tanto MDF como MDP, debido a los impactos potenciales del subsistema de producción forestal, en especial, para la eutrofización y la eco-toxicidad.

Para mitigar el impacto ambiental se propone alarga la vida útil del material convirtiendo el residuo en materia prima, sin embargo, el material sigue teniendo el componente contaminante, el cual sigue siendo un tema de investigación y desarrollo.

## Conclusiones

En conclusión, el MDP produce mayor cantidad de material residual contaminante, en la prueba de peso se tiene 1283 Kg mensuales producidos en dos almacenes de la empresa Madecentro Colombia S.A.S y 749 Kg de MDF, que al multiplicar en los 112 almacenes del país se tiene un aproximado de 141.130 kg de MDP material desperdicio mensual y 82.390 Kg de MDF.

Por otro lado, una de las problemáticas de la región es depositar los residuos en vertederos municipales sin tratamiento, para lo cual, el análisis de los perfiles ambientales afirma que la acidificación en tierra del MDP es el impacto más representativo, además, se ve afectado por la eutrofización, que causa cambios en la química de los suelos y pérdida de fertilidad, (Piekarski, de Francisco, da Luz, Kovaleski, & Silva, 2017).

Por último, el estudio realizado genera un aporte en la caracterización de los residuos, y se comparan aspectos ambientales que conlleva a un análisis de adaptación tecnológica con el fin de minimizar los costos medio ambientales y dejar abierta la posibilidad para nuevas investigaciones que analicen la eliminación del componente formaldehído dentro de la partícula de madera procesada.

## Trabajo Futuro

Teniendo en cuenta los resultados de este estudio, se hace necesario abordar la problemática de impacto ambiental. Para esto, se propone un trabajo futuro orientado a: primero, construir una propuesta de adaptación tecnológica, que permita homogeneizar el residuo mediante un proceso de transformación. Para esto, se propone realizar una búsqueda en dos bases de datos, Elsevier y Scopus, además de una exploración en Google Académico, de los sistemas utilizados en el mundo para el reúso de material aglomerado, de la cual se espera seleccionar procesos con posible adaptación en la región, los cuales serán evaluados según requerimientos ambientales y de sistema para seleccionar uno, con el cual se quiere mitigar el impacto ecológico de estos residuos.

Segundo, con el proceso de adaptación definido, se sugerirán posibles aplicaciones encontradas en el mercado mundial para el reúso del material procesado, realizando siempre la homogeneización del residuo para convertirse en materia prima.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Cartmell, P. (2017). The Recycling of Waste Medium-Density Fibreboard Materials. The Recycling of Waste Medium-Density Fibreboard Materials, 1. Retrieved from <https://homesteady.com/info-8755091-recycling-waste-mediumdensity-fibreboard-materials.html>
2. EPD. (2018). EPD Environmental Product Declaration
3. Garcia, R., & Freire, F. (2014). Carbon footprint of particleboard: A comparison between ISO/TS 14067, GHG Protocol, PAS 2050 and Climate Declaration. *Journal of Cleaner Production*, 66, 199–209. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.11.073>
4. Instituto colombiano de normas técnicas y certificación. (2009). Norma técnica Colombiana GTC 24: Gestión ambiental. Residuos Sólidos y guía para la separación en la fuente. Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación, (571), 1–18. Retrieved from [http://www.bogotaturismo.gov.co/sites/intranet.bogotaturismo.gov.co/files/GTC\\_24\\_DE\\_2009.pdf](http://www.bogotaturismo.gov.co/sites/intranet.bogotaturismo.gov.co/files/GTC_24_DE_2009.pdf)
5. Licona, E. C. (2006). Gestión Integral de residuos sólidos. Honolulu, Hawai: Atlantic International University. <https://doi.org/UM2880SSI7147>
6. Pallet, S. M. (2018). Pallet Block Machine. Retrieved from

[http://www.palletmach.com/products/Pallet-block-machine.html?gclid=Cj0KCQjwibDXBRCyARIsAFHp4foHku\\_wVAoSqbJjkg9YN\\_4DaKeUqRvG3GWk6UK0hF\\_Hy1ArT-0udPwaAgl6EALw\\_.wcb](http://www.palletmach.com/products/Pallet-block-machine.html?gclid=Cj0KCQjwibDXBRCyARIsAFHp4foHku_wVAoSqbJjkg9YN_4DaKeUqRvG3GWk6UK0hF_Hy1ArT-0udPwaAgl6EALw_.wcb)

7. Primadera. (2016). Inauguración de Primadera, el nuevo fabricante de tableros MDP colombiano. Retrieved from <http://www.notifix.info/es/noticias-es/fabricantes-tableros/36024-inauguracion-de-primadera-el-nuevo-fabricante-de-tableros-mdp-colombiano>
8. Reimann, K., Paulsson, S., Wikström, Y., & Weaving, S. (2013). Environmental Product Declaration. Springer (Vol. 4). Retrieved from <http://link.springer.com/content/pdf/10.1007/978-94-007-1899-9.pdf#page=606>
9. Silva, D. A. L. (2012). Avaliação do ciclo de vida da produção do painel de madeira MDP no Brasil, 207. <https://doi.org/10.11606/D.88.2012.tde-31072012-12135>

### **2.5.3 Prototipo de sistema de torre de viento para enfriamiento habitacional híbrido en clima cálido, caso de estudio vivienda urbana existente en Sinaloa, México.**

**Ileana Briceno Benard** <sup>(1)</sup>

Lic. en Arquitectura, Maestra en Proyectos y Edificación Sustentables por el Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Occidente (ITESO).

**Francisco Álvarez Partida**

Lic. en Arquitectura, Maestro en Informática Aplicada, Docente del Departamento del Hábitat y Desarrollo Urbano en ITESO. Especialidad en Construcción por la Universidad de Ciencias Aplicadas en Alemania. Doctorante en Arquitectura por la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM).

**Dirección (1):** Av. Guadalupe, #6160- Plaza Guadalupe- Zapopan - Jal. - 45030 – México - Tel.: (+33) 15201800 – Email: [pe186540@iteso.mx](mailto:pe186540@iteso.mx)

#### **RESUMEN**

Los sistemas constructivos estandarizados y el diseño convencional de la vivienda en regiones de clima cálido en México, como en Sinaloa, no responden a las características bioclimáticas particulares de la región, lo que ocasiona que su comportamiento térmico no sea confortable gran parte del año. Actualmente el proceso de enfriamiento de espacios interiores en la vivienda común se basa primordialmente en el uso excesivo de aparatos electromecánicos para climatización artificial, como los aires acondicionados, que requieren grandes cantidades de energía eléctrica para operar, las cuales representan altos costos económicos y ambientales y se les relaciona con problemas de calidad del aire y salud de los usuarios. A partir de los antecedentes del sistema de enfriamiento de Torre de viento, utilizado desde tiempos antiguos principalmente en países de Medio Oriente, y del análisis bioclimático de la zona de estudio, el presente proyecto propone una alternativa de enfriamiento eólico híbrido para mejorar el confort térmico en la vivienda existente de manera más sustentable mediante el aprovechamiento de la captación del viento, el uso de un intercambiador de calor y la ventilación cruzada, lo que permitiría reducir el uso de los equipos antes mencionados. Se realizaron una serie de simulaciones numéricas Computational Fluid Dynamics (CFD) con diferentes variables climáticas y físicas que permitieron comprobar el funcionamiento del sistema propuesto, así como analizar la propuesta técnica, ventajas y desventajas, y compararlo con un equipo de aire acondicionado convencional. Se concluyó que el prototipo de sistema propuesto tiene un gran potencial de utilización en regiones de clima cálido en México, y, por lo tanto, de ahorros energéticos, económicos y de emisiones de gases que contribuyen al calentamiento global.

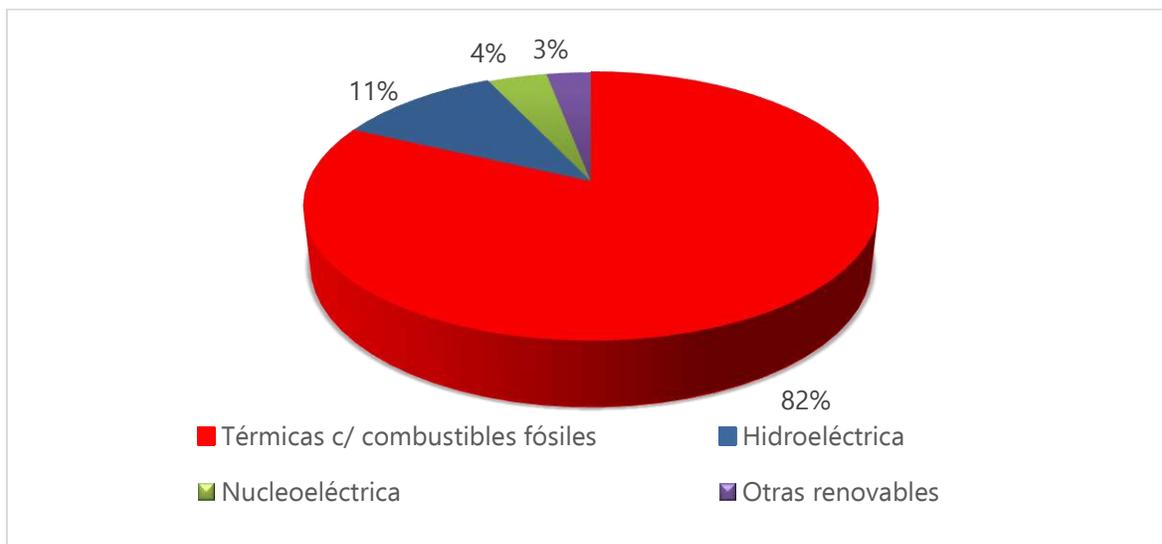
**Palabras claves:** Torre de viento, Enfriamiento pasivo híbrido, Vivienda existente, Computational Fluid Dynamics, Clima cálido en México.

#### **INTRODUCCIÓN**

##### **Contexto nacional**

El sector residencial en México, según datos de la SENER (2017), para el año 2016 consumía el 22.68% de la energía eléctrica. En las regiones de clima cálido del país, de acuerdo a Echeverría Aguilar (2015) viven cerca del 45% de los usuarios del sector residencial, el equivalente a más de 13 millones de personas y aunque representan poco menos de la mitad del total de usuarios, las viviendas en este tipo de clima representan poco más del 70% del total del consumo de energía del sector. Actualmente es cada vez más común contar con equipos de climatización de alto consumo energético, como los aires acondicionados, para combatir el calor en el interior de las viviendas en este tipo de clima, ya que el diseño de estas no está pensado para que sea energéticamente eficiente, lo que afecta de manera significativa al medio ambiente, así como a la economía de los

habitantes y la salud. La mayoría de los equipos antes mencionados requieren de energía eléctrica para operar y México es un país que depende principalmente de combustibles fósiles para generar la energía eléctrica demandada por el sector residencial junto con el resto de los sectores (ver Gráfica 1), esta alta dependencia nos sitúa en un alto nivel de vulnerabilidad ante la crisis energética que se vive de manera global, además de las implicaciones ambientales que el uso de este tipo de energéticos representa.



**Gráfica 1. Generación en México por tipo de energético en 2013. Fuente: Elaboración propia con datos de La Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía (CONUEE, 2015).**

Los combustibles fósiles son cada vez más escasos y de precios cada vez más elevados, por lo que el utilizar este tipo de tecnología de tipo activa, para mejorar el confort térmico, implica no sólo un gasto significativo para los usuarios, sino que también representa un gasto público importante ya que actualmente las tarifas de electricidad se encuentran altamente subsidiadas en gran parte del país, especialmente en las regiones de clima cálido.

### **Búsqueda de alternativas más sustentables**

Ante la situación antes planteada se entiende el interés y la necesidad de buscar alternativas de enfriamiento para interiores más sustentables como son las torres de viento, un sistema de enfriamiento pasivo utilizado principalmente en países del Medio Oriente, desde tiempos antiguos hasta la actualidad, formando parte de su arquitectura tradicional.

La principal función de las torres de viento es el mantener la circulación de aire fresco y enfriar los interiores de las edificaciones. Funcionan en base a la convección, que puede ser forzada o natural. Se denomina forzada cuando el viento se ve obligado a entrar por la torre captadora, y natural cuando el viento no sopla, el aire caliente que se generó en el interior se ve obligado a salir por diferencia de densidades por las mismas aberturas de la torre por donde entra cuando el aire sopla. Durante la noche, cuando el viento no sopla, funciona como chimenea ya que, al haberse calentado la envolvente de la torre durante el día, expulsa el aire caliente por convección natural refrescando el interior con la circulación de aire que se genera. En regiones con clima cálido seco se suele agregar

humedad al aire, ya sea a lo largo del tiro por donde ingresa o haciéndolo pasar por algún depósito de agua, generando un enfriamiento evaporativo.

Algunas regiones de clima cálido del país, como Sinaloa, cuentan con condiciones climáticas similares a las del medio oriente, por lo que se plantea la posibilidad de incorporar un sistema de este tipo en las edificaciones del país, específicamente en la vivienda existente.

### **Potencial de la ventilación natural**

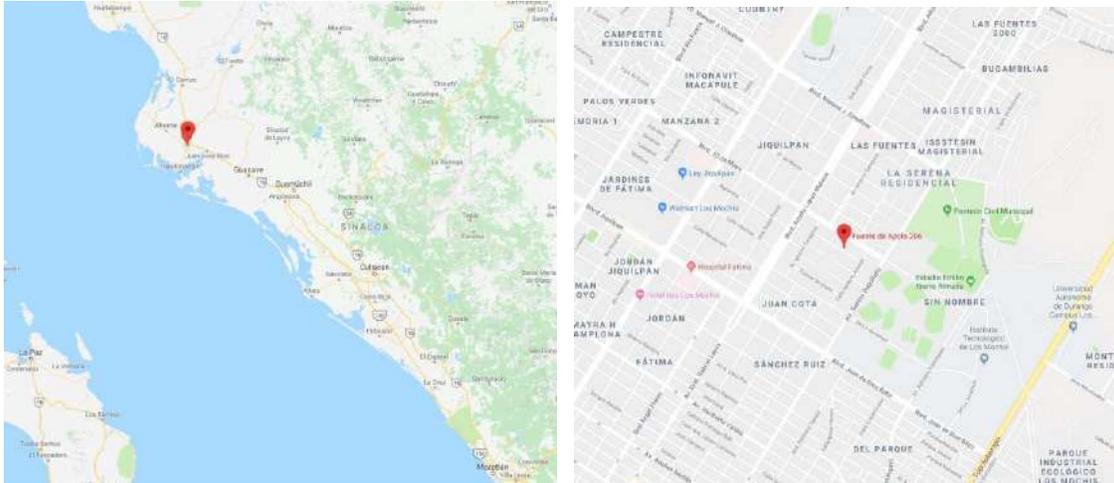
De acuerdo a un estudio realizado por Oropeza Pérez & Morillón Galvez (2011) por lo menos la mitad del territorio del país tiene potencial del uso de ventilación natural para la reducción de temperaturas interiores durante todo el año, y por consecuencia, la reducción del uso de equipos de aire acondicionado, en especial de los meses de julio a septiembre, que forman parte de la temporada más calurosa del año en el norte del país. Prácticamente todo el territorio presenta potencial de ahorros energéticos de medianos a altos en alguna temporada del año; el potencial de ahorros altos se identifica principalmente en algunas zonas costeras de climas cálidos como en Sonora, Sinaloa, Colima, Guerrero, Veracruz, Campeche, Quintana Roo.

### **OBJETIVO**

Por medio del diseño de un sistema de torre de viento para enfriamiento pasivo para una habitación de una vivienda común existente, que pueda ser replicable, lograr captar el viento exterior y reducir su temperatura para alcanzar los rangos de confort de tal manera que se logre reducir el tiempo en el que se requiere el uso de aire acondicionado a lo largo del año, con el fin de disminuir el consumo energético y la emisión de gases de efecto invernadero, y así mejorar las condiciones de habitabilidad y elevar la calidad de vida de los habitantes acercando a las viviendas a la sustentabilidad.

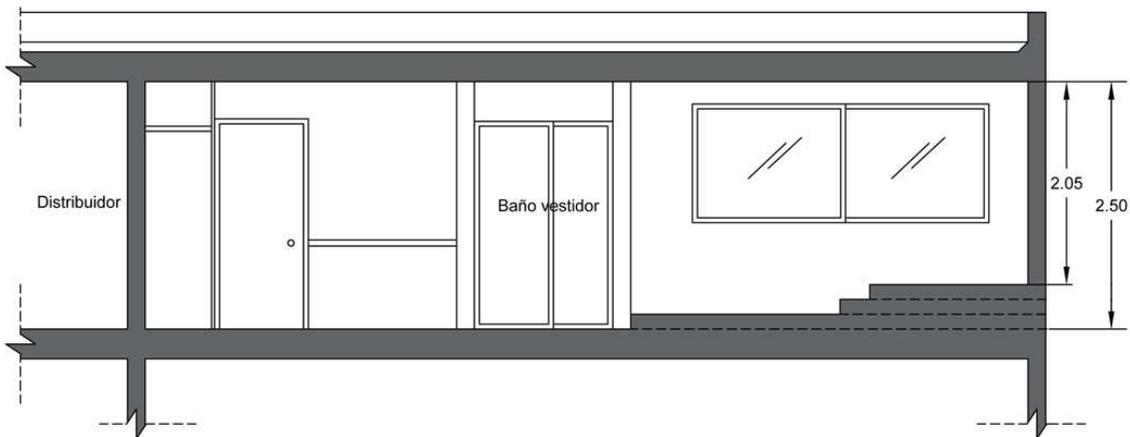
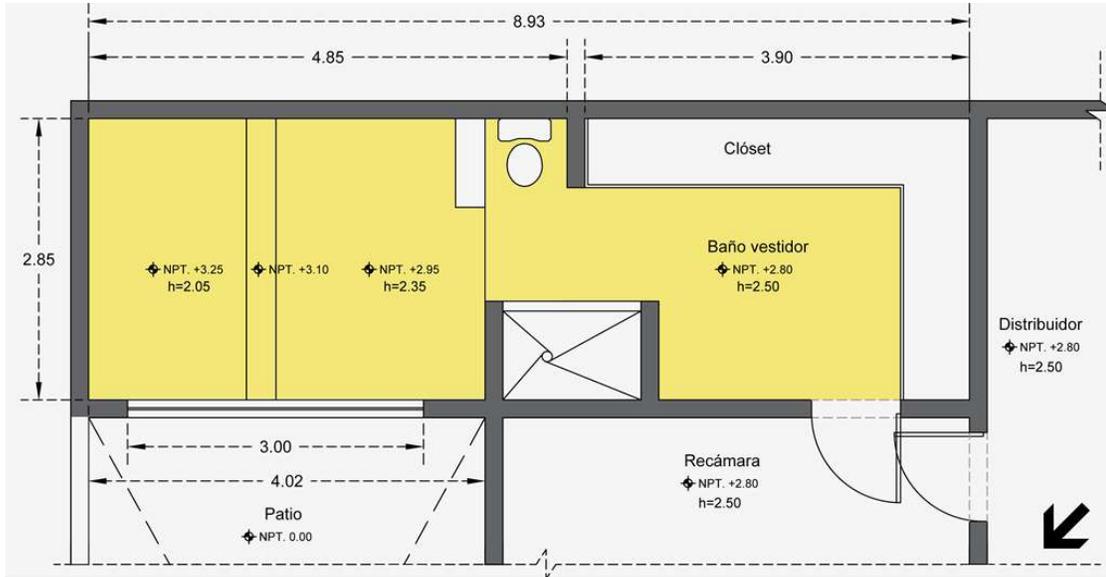
### **CASO DE ESTUDIO**

Como caso de estudio se seleccionó una vivienda existente dentro de los límites urbanos de Los Mochis, ciudad ubicada al noroeste del estado de Sinaloa muy cercana a la costa (ver Imagen 1), que presenta altas temperaturas gran parte del año por lo que cuenta con la tarifa de energía eléctrica más subsidiada (1F), donde además el uso del aire acondicionado es cada vez más común y arraigado a las costumbres de los habitantes. La vivienda seleccionada cuenta con características constructivas y espaciales comunes en la región y en las zonas urbanas del país, como losa aligerada de concreto y muros de ladrillo rojo recocido confinados con castillos de concreto armado, características que le posibilitan la implementación de aislamiento en diferentes partes de la edificación. También cuenta con un aljibe o cisterna, que si bien no son elementos tan comunes se pueden agregar fácilmente a las construcciones locales, por lo cual la propuesta es replicable y poco invasiva. En este caso se contó con fácil acceso a ella para realizar los monitoreos requeridos por ser propia.



**Imagen 1. Ubicación de vivienda existente seleccionada para el caso de estudio. Fuente: Elaboración propia con mapa base de Google (2017) [Mapa de la ciudad de Los Mochis].**

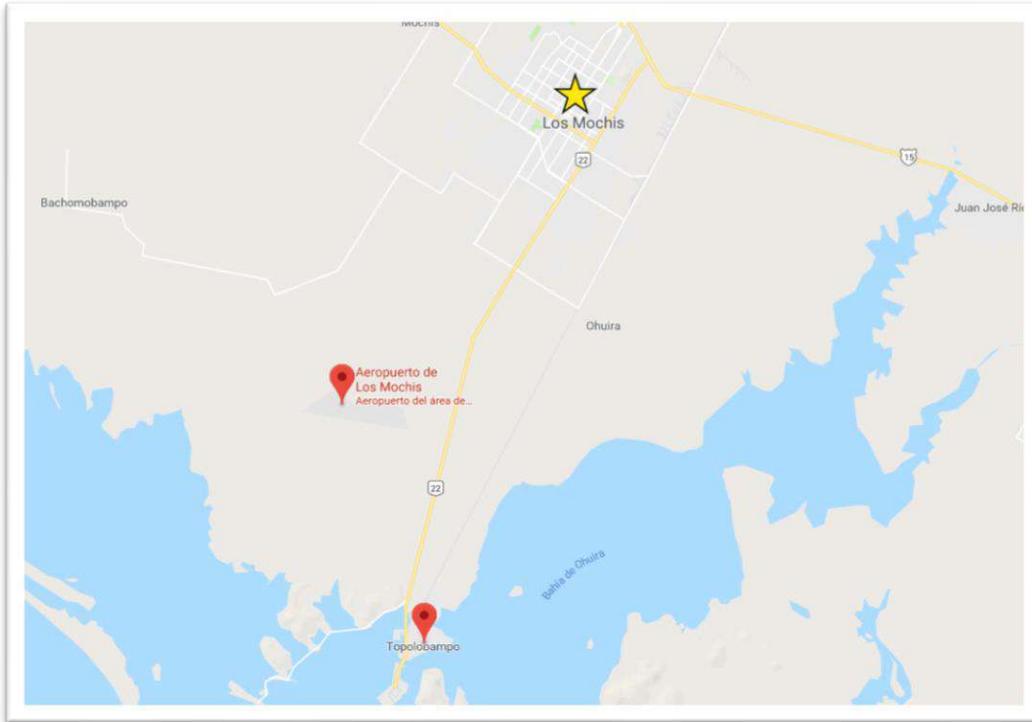
Para los fines del trabajo y el tiempo disponible se eligió una sola habitación (ver Imagen 2), con una orientación noroeste-suroeste, para el análisis de la incorporación de un prototipo de sistema de enfriamiento de torre de viento propuesto. Dicha habitación cumple con la función de baño vestidor de la recámara principal de la vivienda. Fue elegida ya que es una de las habitaciones más grandes de la casa (20 m<sup>2</sup>) y no cuenta con equipo de aire acondicionado que pudiera interferir en los monitoreos de temperatura y humedad relativa que se llevaron a cabo.



**Imagen 2. Levantamiento arquitectónico de la habitación de estudio - PLANTA y SECCIÓN.**

Las principales variables climáticas consideradas, para determinar si es posible alcanzar la zona de confort por medios pasivos (torre de viento) o híbridos (ayudado por conducción forzada de agua) que fue necesario analizar y modelar, fueron la velocidad y dirección de los vientos dominantes, las temperaturas alcanzadas, y los porcentajes de humedad relativa que presenta la ciudad de estudio a lo largo del año.

Las estaciones meteorológicas más cercanas a Los Mochis son la estación del Aeropuerto que se ubica a 19 km aproximadamente del centro de la ciudad y la estación de Topolobampo a 24 km de distancia del centro (ver Imagen 3), ya que la ciudad no cuenta con una estación meteorológica dentro de sus límites urbanos que proporcionen registros sobre la actividad del viento. Los vientos promedios en estas estaciones se registran de 5 m/s prácticamente todo el año.

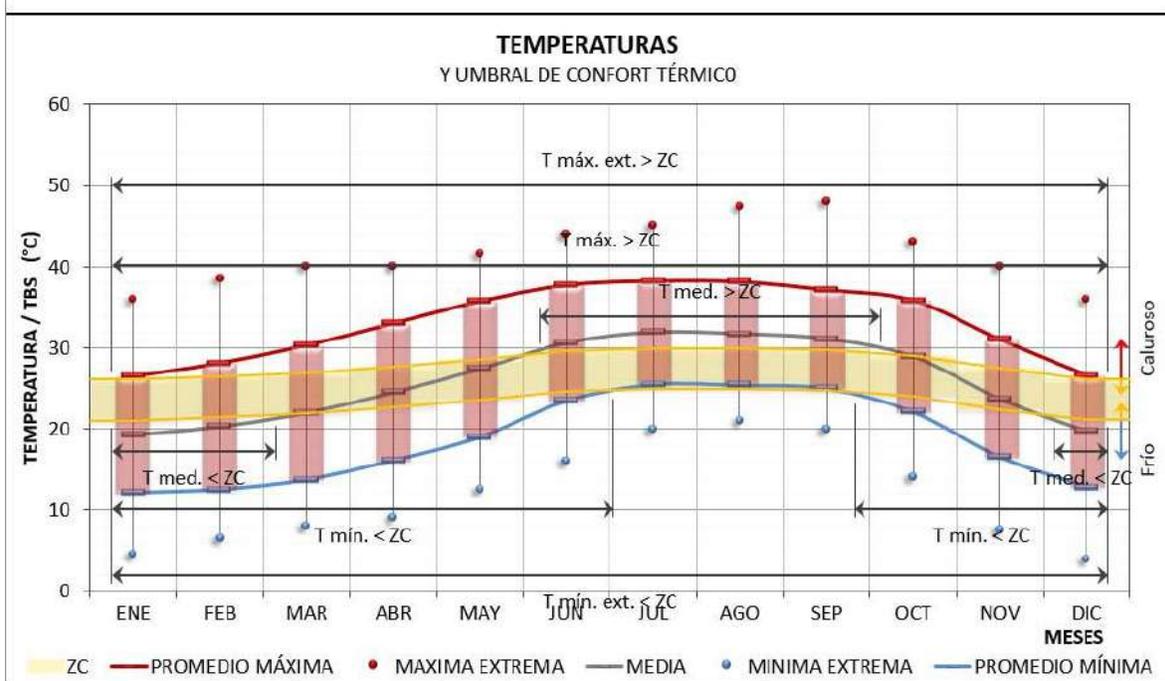


**Imagen 3. Ubicación de estaciones meteorológicas más cercanas.** Fuente: Elaboración propia con mapa base de Google (2017) [Mapa de la ciudad de Los Mochis].

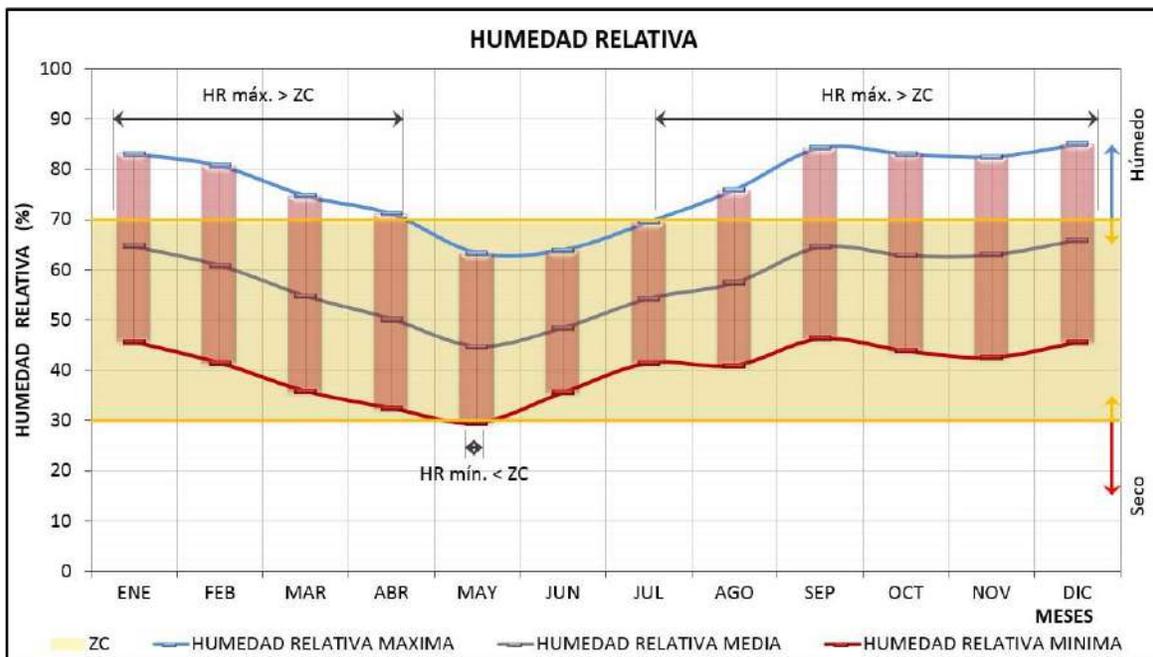
La desventaja de la información de estas dos estaciones meteorológicas es que se encuentran más cerca del mar que de la propia ciudad, donde es más probable que los vientos se registren con velocidades más altas. Por lo cual se consideraron datos interpolados de estaciones meteorológicas cercanas y estimaciones generadas por medio de Meteonorm. De acuerdo a esta información los vientos promedios anuales rondan los 2.8 m/s.

Los vientos dominantes en la temporada de calor provienen del suroeste, y se presentan calmas hasta el 50% del tiempo, sin embargo, a lo largo del día, los vientos más fuertes circulan a partir del mediodía hasta cerca de las 6 de la tarde, cuando el sol cuenta con mayor incidencia.

Según datos obtenidos de las normales climatológicas de la Estación Meteorológica no. 25116 (período 1981-2010), la ciudad presenta temperaturas máximas promedio de verano de 38°C. La media de temperatura se encuentra sobrepasando la zona de confort (rango representado en amarillo en Gráfica 2) de mediados de mayo a octubre, por arriba de los 28°C. La humedad relativa presenta una media que oscila entre el 45% y el 65% encontrándose dentro de la zona de confort todo el año, en algunos puntos muy cercana al límite superior (ver Gráfica 3).



**Gráfica 2. Temperaturas y umbral de confort térmico.** Elaboración propia, con apoyo del software Bioclimatic Analysis Tool (BAT).



**Gráfica 3. Humedad Relativa.** Elaboración propia, con apoyo del software Bioclimatic Analysis Tool (BAT).

Ante estas condiciones climáticas la tarifa de CFE para Los Mochis es 1F, la tarifa más subsidiada, para servicio doméstico para localidades con temperatura media mínima en verano de 33°C. La diferencia en el subsidio entre la temporada de verano y la de fuera de verano de la tarifa 1F es muy significativa, durante la temporada de verano los kWh de consumo básico e intermedio bajo siguen siendo más baratos que el consumo básico de temporada fuera de verano (ver Tabla 1).

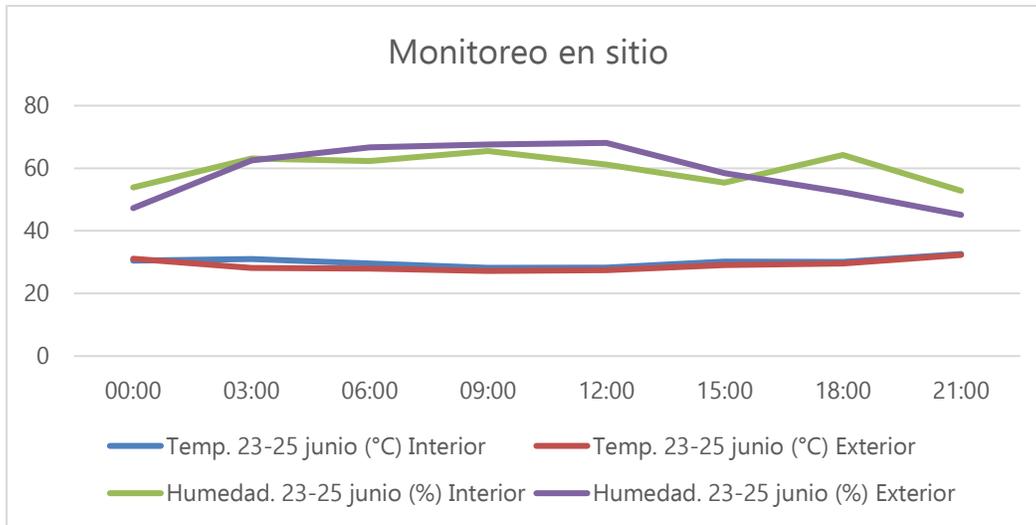
**Tabla 1. Tarifa 1F (diciembre 2017-2018)**

<b>Tarifa 1F (diciembre 2017-2018) para temporada fuera de verano (de noviembre a abril)</b>		
<b>Tipo de consumo</b>	<b>Precio</b>	<b>Cantidad</b>
Consumo básico	\$ 0.793	Por cada uno de los primeros 75 kWh
Consumo intermedio	\$ 0.956	Por cada uno de los siguientes 125 kWh
Consumo excedente	\$ 2.802	Por cada kWh adicional a los anteriores
<b>Tarifa 1F (diciembre 2017-2018) para temporada de verano (de mayo a octubre)</b>		
Consumo básico	\$ 0.583	Por cada uno de los primeros 300 kWh
Consumo intermedio bajo	\$ 0.726	Por cada uno de los siguientes 900 kWh
Consumo intermedio alto	\$ 1.768	Por cada uno de los siguientes 1300 kWh
Consumo excedente	\$ 2.802	Por cada kWh adicional a los anteriores

Fuente: Elaboración propia con datos de Comisión Federal de Electricidad (2017).

Para fines de la investigación se llevó a cabo un monitoreo de temperatura y humedad relativa en la habitación de estudio y en su exterior mediante data loggers. Los equipos de monitoreo registraron la información cada 3 horas durante los días 23 al 25 de junio del 2017.

Se presentó poca diferencia de temperatura entre el exterior y el interior de la edificación (ver Gráfica 4), de acuerdo a Lim et al. (2011) esto es algo común en los lugares con clima cálido húmedo, lo que puede dificultar “el efecto chimenea”, una de las principales funciones de las torres de viento, donde por una diferencia entre la temperatura exterior y la interior se propicia la ventilación cruzada extrayendo el aire caliente del interior. Las temperaturas registradas por el monitoreo oscilaron entre los 28°C y los 34°C, presentando poca variación a lo largo del día tanto en el interior como en el exterior, y los porcentajes de humedad relativa se registraron entre 46% y 69%, dentro del rango de la zona de confort, pero en algunos momentos se registraron porcentajes muy cercanos a sobrepasar el límite máximo de 70%.



**Gráfica 4. Monitoreo de temperatura y humedad relativa en sitio del 23 al 25 de junio del 2017.**

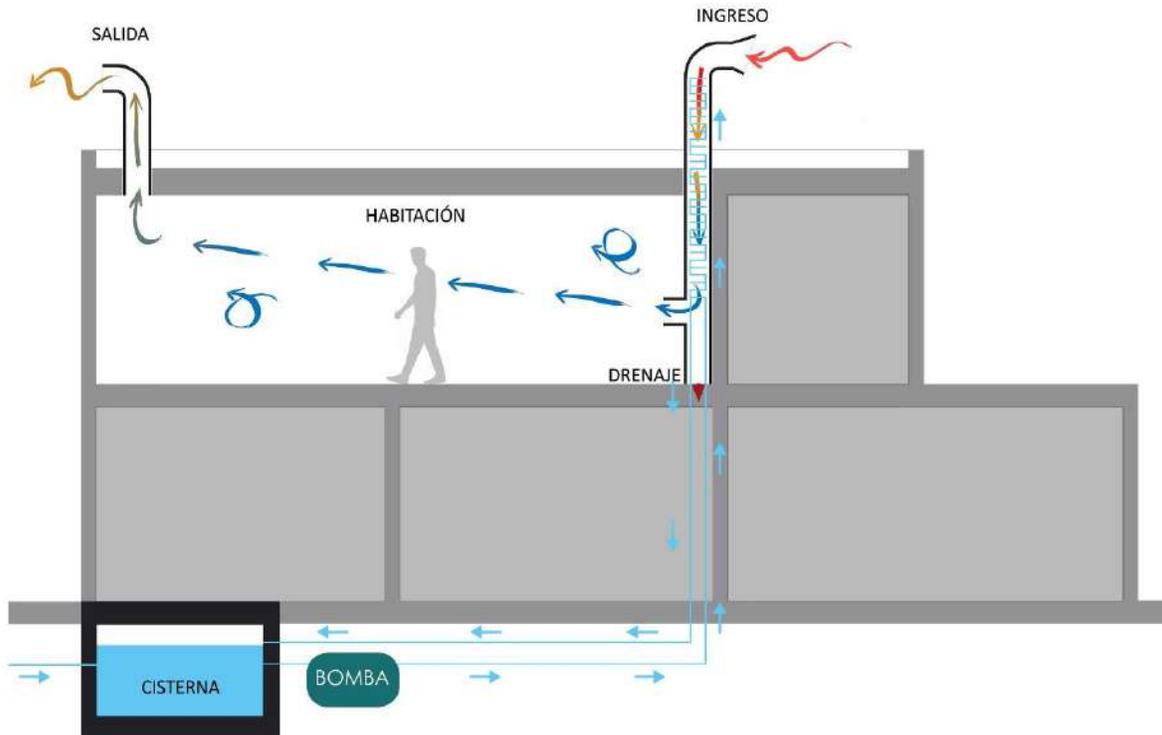
Según la clasificación climática para Los Mochis del sistema modificado KÖPPEN-GARCÍA, el resultado es de clima Seco extremoso **BS0(h')w(x')(e)**, donde **BS** corresponde a seco o árido, **h'** a muy cálido, **w(x')** a clima seco con algunas lluvias en verano y pocas lluvias en invierno y **e** a extremoso; aunque se clasifica como seco por la baja precipitación pluvial que se presenta, es importante considerar que se percibe humedad en el ambiente por la cercanía al mar. Debido a esto y a los monitoreos de humedad relativa en sitio se considera que el uso de un enfriamiento evaporativo no es el más conveniente para este caso.

## METODOLOGÍA

### Diseño y sistema de enfriamiento

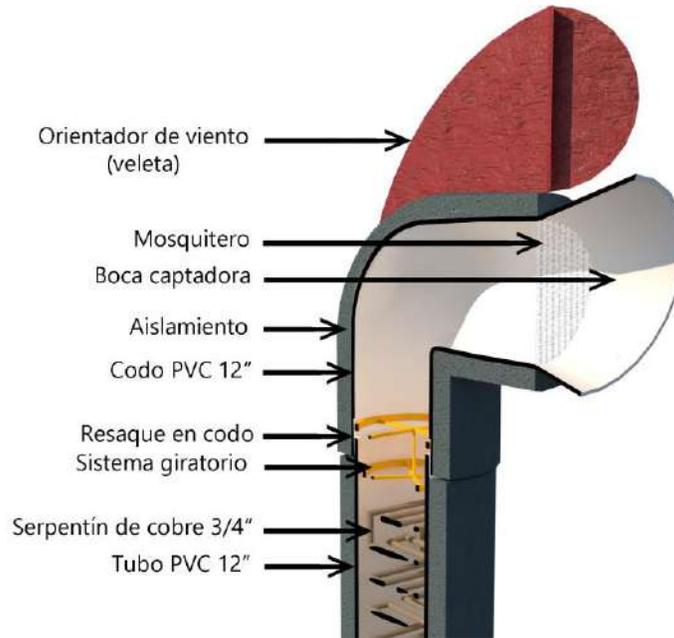
El sistema de enfriamiento híbrido de torre de viento propuesto consta de una torre captadora y enfriadora de viento y de una salida del mismo. Se consideró un sistema híbrido para lograr bajar la temperatura del aire lo necesario para alcanzar la zona de confort higrotérmico, entendiéndola como el estado del cuerpo humano en el que las personas realizan un mejor desempeño en sus actividades productivas al poder destinar sólo un mínimo de su energía para lograr adaptarse al ambiente, evitando el estrés térmico por frío, calor, sequedad o humedad. El rango de temperatura y humedad relativa máximas y mínimas de la zona de confort se basó de acuerdo al cálculo que realiza el programa computacional Bioclimatic Analysis Tool (BAT) el cual utiliza parámetros y criterios que han propuesto y desarrollado diferentes autores estudiosos del tema alrededor del mundo, así como los datos climáticos específicos del sitio de estudio. A diferencia de un sistema pasivo que funciona a partir de energías primarias sin su transformación en otro tipo de energía, el sistema híbrido hace una mezcla entre sistema pasivo y el uso de una cantidad menor de energía transformada, en este caso, para lograr la circulación forzada de agua y obtener mayor reducción de temperatura del aire captado.

De este modo, la torre captadora de viento cuenta con un serpentín que se alimenta de agua a menor temperatura (cerca de 20 °C), proveniente de la cisterna, con el apoyo de una electrobomba centrífuga que permite que el agua se mantenga circulando durante el tiempo que el sistema se encuentre activo, haciendo la función de un intercambiador de calor, que al estar en contacto con el aire captado ayuda a que éste pierda temperatura durante su trayecto de ingreso. Al fondo de la torre se cuenta con una coladera que permite drenar cualquier condensación o filtración. (Ver Imagen 4).



**Imagen 4. Esquema de sistema de torre de viento para enfriamiento híbrido.**

Uno de los elementos más importantes del sistema es la torre de captación, donde sucede la mayor parte del proceso de captación y enfriamiento del aire captado. La Imagen 5 que aparece a continuación, muestra las principales partes que la componen.



**Imagen 5. Detalles de funcionamiento de captación.**

## SIMULACIÓN

Computational Fluid Dynamics (CFD) o Dinámica de Fluidos Computacional es una rama de la mecánica de fluidos que, con el uso métodos numéricos y algoritmos, resuelve y analiza problemas relacionados con el flujo de fluidos (líquidos y gases) mediante el uso de una computadora. Tiene la capacidad de predecir con detalle las propiedades de los fluidos, de ayudar al diseño y a dar soluciones rápidas, que, de otro modo, conllevarían realizar experimentos de alto costo y tiempo. Como resultado proporciona una visualización y animación del proceso de simulación de acuerdo con las variables del fluido. En el caso de este trabajo se utilizó el programa computacional Autodesk CFD versión 2018; un ejemplo que sirvió como guía acerca del uso de este programa fue el realizado por Naboni et al. (2017) en su trabajo titulado y traducido como "Mapas de Confort Térmico-CFD para el Diseño Arquitectónico Interior", donde analizan la opción de utilizar un software de CFD para crear mapas visualizables de confort térmico espacial de las edificaciones para que los diseñadores puedan comprender el flujo de calor a través de las partes del edificio y sus espacios y poder tomar decisiones de diseño cualitativo en una fase conceptual del diseño. Los mapas de temperatura radiante promedio se utilizaron para diseñar la remodelación de un pequeño edificio educativo en Copenhague. El programa también se ha utilizado en otras investigaciones de transferencia de calor a menor escala que también está relacionado con el trabajo que se presenta en este documento. Burlacu et. al. (2018) realizaron un análisis de transferencia de calor con el apoyo de Autodesk CFD titulado y traducido como "Sistema innovador para la recuperación de calor del agua usada en el sector de la edificación" donde diseñan un intercambiador de calor modelado en 3D en el software Autodesk Inventor e importado posteriormente en Autodesk CFD para simular su comportamiento en diferentes escenarios hipotéticos para determinar el comportamiento de la energía en el sistema propuesto. Se utilizó un rango de temperaturas en el agua usada usuales en las edificaciones y diferentes configuraciones de serpentín de calentamiento.

Para la simulación del sistema propuesto en este trabajo, mediante el software Autodesk CFD 2018, se realizó previamente el modelo 3D de la habitación de estudio mediante el software Revit versión 2018. El modelo tuvo que ser simplificado para hacer factible su simulación en cuestión de memoria de computadora y tiempo requerido para llevar a cabo las simulaciones.

Para el desarrollo del prototipo de torre de viento se tomó como base algunas de las características de las torres de viento encontradas en la revisión documental de los antecedentes empíricos, se propuso una geometría de torre de viento base para probar su comportamiento en referencia al viento como su captación, distribución y velocidades al estar instalada en una habitación. Las dimensiones del sistema fueron determinadas a partir de la prueba de distintas configuraciones de torre, del comportamiento del viento al momento de ser captado y de las características de la vivienda para su instalación. Durante el proceso se realizaron distintas simulaciones de prueba con diferentes combinaciones de variables como el uso de las ventanas existentes como medio de salida del aire y distintas alturas, tanto interiores como exterior, de la torre de captación y de la torre de salida.

La torre de viento se consideró orientada hacia el suroeste, orientación que de acuerdo al análisis bioclimático es la que presenta los vientos dominantes la mayor parte del tiempo en los meses que se requiere enfriamiento, pero además el prototipo puede girar mediante una veleta (Ver Imagen 5) para adecuarse a la dirección predominante del viento. Por otro lado, para las condiciones de frontera (boundary conditions) las velocidades consideradas para las distintas simulaciones fueron 5 m/s y 2.8 m/s. Además, se consideró una humedad relativa de 65% en todos los casos y temperaturas de 35°C y 38°C. La simulación se realizó considerando un estado estacionario (steady state).

También se probaron dos configuraciones distintas de serpentines de cobre, el Tipo 1 que es un serpentín que envuelve la circunferencia interior de tubo, como una bobina, y el Tipo 2 que se distribuye por el espacio interior del tiro con una longitud de tubo 27 m.

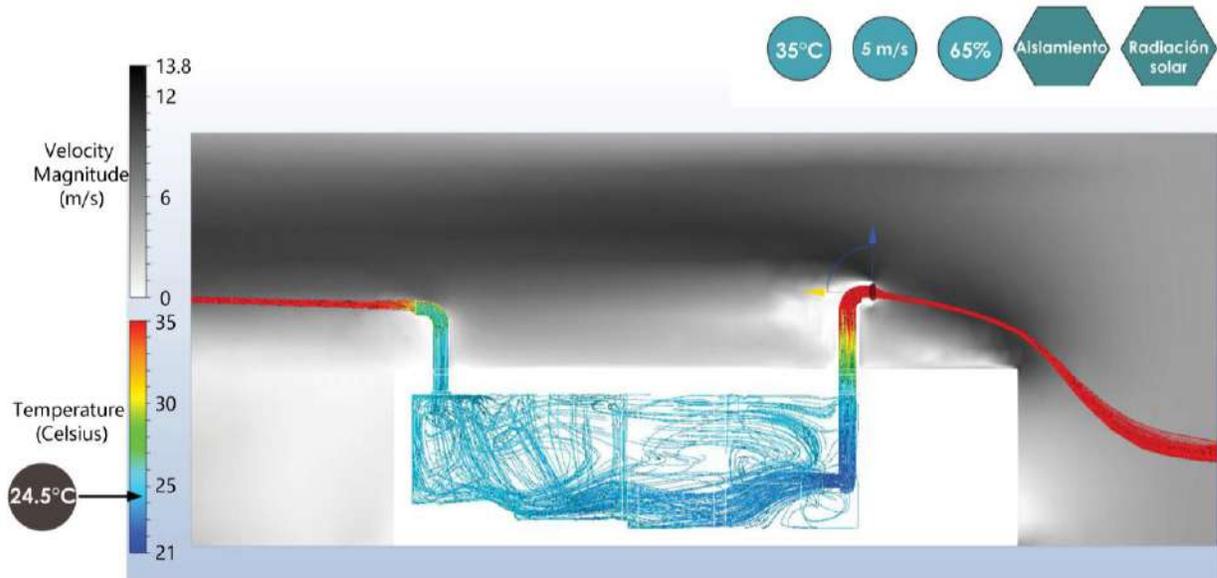
## RESULTADOS

Se presentan a continuación 11 simulaciones (Ver Tabla 2) como resultado de una aproximación empírica gradual y del tiempo disponible para su realización, considerando variables de temperatura exterior, velocidad del viento a captar, las dos distintas configuraciones de serpentín (variando su longitud y área de contacto), el factor de radiación solar, y diferentes zonas con aislamiento. En la Tabla 2 se pueden identificar los resultados obtenidos en cada simulación de acuerdo a las variables que fueron consideradas. Las variables climáticas se determinaron a partir de los resultados obtenidos mediante los registros y análisis climáticos del sitio, tratando de considerar las situaciones más críticas.

**Tabla 2. Simulaciones, características y resultados**

No. Simulación	CARACTERÍSTICAS										RESULTADOS						
	Temperatura exterior °C	Velocidad del viento exterior		Configuración de serpentín	Radiación		Aislamiento			Temperatura interior (°C)			Vel. viento interior (m/s)				
		2.8 m/s	5 m/s		1	2	Activa	Inactiva	En techo	En muros	En torre	Sin ais.		Máx.	Mín.	Predominante	
1	35	X	X	X		X								35	31	32	1.5
2	35	X		X		X								34	30	31	0.75
3	35	X	X		X		X							29	25	27	1
4	35	X			X		X							30	26	28	0.75
5	35				X		X			X				31	24	27	1
6	35	X			X		X			X				34	26	30	0.5
7	35		X		X		X			X				30	26	28	1
8	35	X			X		X			X				35	27	30	1
9	35		X		X		X			X	X			26	23	24.5	0.5
10	35	X			X		X			X	X			26.5	24	25.5	0.5
11	38	X			X		X			X	X			27.5	25	26.5	0.5

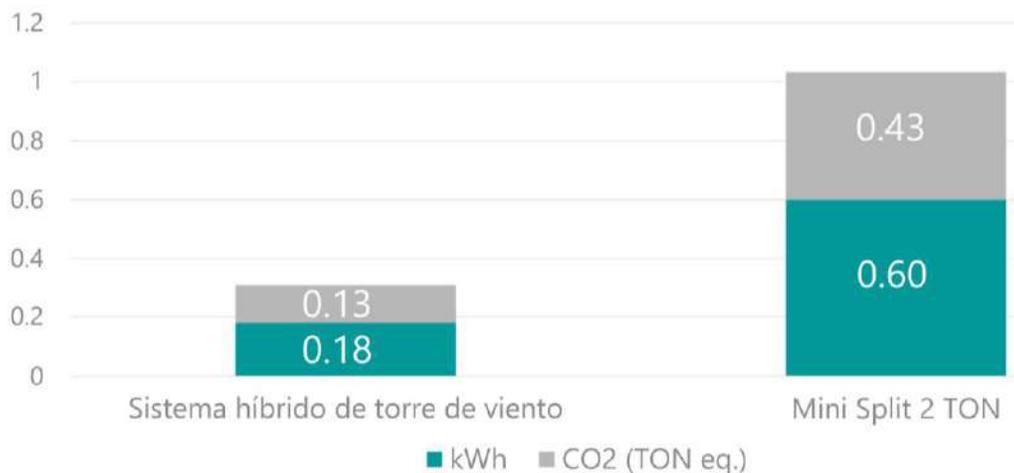
Los resultados de las simulaciones se presentan con una imagen de un plano en sección transversal de la vivienda que permite ver el proceso de la circulación del aire desde que se encuentra en el exterior, circula por el interior del sistema y sale de la habitación para incorporarse nuevamente a la corriente exterior. A continuación, se presenta los resultados de la simulación #9 (Ver Imagen 6), la cual obtuvo las temperaturas más bajas al interior de la habitación. En la siguiente imagen se presenta como plano de fondo el comportamiento del viento exterior en cuestión de velocidad, la edificación se presenta en color blanco y en colores se puede apreciar el comportamiento del viento captado en cuestión de temperatura, trayectoria y distribución.



**Imagen 6. Simulación #9, Magnitud de velocidad del viento exterior y temperatura de aire interior.**

Para esta simulación las variables consideradas fueron 35°C de temperatura exterior, 5 m/s como velocidad del viento, 65% de humedad relativa, así como la mayor cantidad de aislamiento propuesto y la variable de radiación solar, la cual no fue considerada en todas las simulaciones, pero que implica un factor importante a tomar en cuenta para obtener resultados más precisos y cercanos a la realidad.

En cuanto a un comparativo del sistema propuesto para un sistema convencional para el enfriamiento de la habitación de estudio, el sistema de enfriamiento híbrido representa sólo el 30% de los consumos energéticos y de las emisiones de GEI de los consumos y emisiones de un mini Split de 2 TON (ver Gráfica 5). El uso de la bomba centrífuga es el responsable de los consumos energéticos y las emisiones de gases que contribuyen al calentamiento global, pero esa misma bomba puede ser utilizada para enfriar mayor área al mismo tiempo, mientras que un sistema de aire acondicionado convencional, para enfriar más área, requiere de mayor tonelaje de refrigeración.



**Gráfica 5. Comparación con sistema convencional para enfriamiento de habitación.**

## CONCLUSIONES

Se concluye que fue un experimento exitoso, pues se obtuvo una reducción de la temperatura del aire bastante significativa, al grado de alcanzar temperaturas de confort interior. Su mejor desempeño se obtuvo mediante la aplicación de aislamiento en el techo de la edificación y en los muros expuestos a la radiación solar, logrando reducir la temperatura, por lo menos, entre 8.5 y 10.5°C en esos casos.

Algunas de las condiciones climáticas principales que afectan en la operación efectiva del sistema de torre de viento son la temperatura exterior, la magnitud de velocidad de los vientos dominantes, la humedad relativa y la radiación solar.

Algunas de las características de la vivienda existente que se pueden aprovechar para el funcionamiento y adaptación de un sistema de enfriamiento mixto de torre de viento son la existencia de un depósito de agua subterráneo, como las cisternas, para provechar su temperatura más baja para enfriar el aire mediante un intercambiador de calor; la configuración de losas nervadas permite una instalación de una torre de este tipo de manera menos invasiva permitiendo una fácil perforación; la colindancia con vecinos también es una característica que se puede aprovechar como aislamiento de los muros de la envolvente así como las configuraciones compactas de las edificaciones.

Para la construcción del sistema de enfriamiento mixto de torre de viento se encuentra factible utilizar materiales que se pueden conseguir en cualquier lugar y que sean del conocimiento común para su manipulación, tratamiento y mantenimiento, como el PVC, tubería de cobre, tubería galvanizada.

El sistema de enfriamiento mixto de torre de viento representa un consumo energético y unas emisiones de GEI del 70% menos en comparación de un sistema de enfriamiento activo como un mini Split promedio. Esta comparación corresponde en el caso de enfriar sólo una habitación con el sistema propuesto o con un equipo de aire acondicionado común. Se ha calculado así ya que fue el análisis que se realizó durante este trabajo, pero el sistema de enfriamiento mixto propuesto es un sistema escalable que tiene la capacidad de ser utilizado en espacios de áreas mucho mayores o en distintos espacios a la vez y seguir utilizando la misma energía que para una sola habitación, es decir, el cálculo de la bomba utilizada para la circulación del agua no se encuentra aprovechada al

máximo en este análisis, por lo que su uso, entre mayor el área a enfriar es mayor la eficiencia, ya que los sistemas de aire acondicionado convencionales requerirían un mayor tonelaje de enfriamiento para mayor área a enfriar, lo que representaría un mayor consumo energético y por lo tanto, mayor cantidad de GEI emitidos.

El sistema propuesto nos acerca a la sustentabilidad ya que brinda la posibilidad de lograr que las personas tengan acceso a una vivienda habitable y confortable de una manera más económica pudiendo aumentar los rendimientos energéticos del edificio simultáneamente con la disminución de las emisiones de CO<sup>2</sup>, lo que representa un gran impacto positivo.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

7. BURLACU, A., SOSOI, G., VIZITIU, R., BARBUTA, M., LAZARESCU, C., VERDES, M., & SERBANOU, A. (2 de abril de 2018). Innovative system for heat recovery from used water in the building sector. *Procedia Manufacturing*(22), 722-729. Recuperado el 20 de abril de 2018, de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2351978918304001>
8. CFE. (01 de diciembre de 2017). *Tarifa 1F (Diciembre 2017 - 2018)*. Recuperado el enero de 2018, de Comisión Federal de Electricidad (CFE): <https://app.cfe.mx/Aplicaciones/CCFE/Tarifas/TarifasCRECasa/Tarifas/Tarifa1F.aspx>
9. CONUEE. (2015). Retos para implementar las NOM en materia energética y ambiental. *Construyendo la Edificación Sustentable* (pág. 30). México D.F.: SEMARNAT. Recuperado el febrero de 2018, de [http://www.cmic.org.mx/comisiones/Sectoriales/medioambiente/Conferencias/Edificacion\\_Sustentable/M%C3%B3dulo\\_2/02\\_Ing\\_Od%C3%B3n\\_de\\_Buen\\_Rodr%C3%ADguez.pdf](http://www.cmic.org.mx/comisiones/Sectoriales/medioambiente/Conferencias/Edificacion_Sustentable/M%C3%B3dulo_2/02_Ing_Od%C3%B3n_de_Buen_Rodr%C3%ADguez.pdf)
10. ECHEVERRÍA AGUILAR, A. (2015). *Estrategia de Transición para promover el uso de Tecnologías más limpias en el tema de ahorro de energía y eficiencia energética en las edificaciones de México. Documento base*. Obtenido de [gob.mx](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/91593/AE_EDIF.pdf): [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/91593/AE\\_EDIF.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/91593/AE_EDIF.pdf)
11. GONZÁLEZ OSORIO, L. M., & Beele, A. (marzo de 2016). *Estudio de Caracterización del uso del aire acondicionado en vivienda de interés social*. México D.F., México: Conuee/GIZ. Obtenido de [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/182038/Estudio\\_de\\_Caracterizaci\\_n\\_del\\_uso\\_de\\_Aire\\_Acondicionado.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/182038/Estudio_de_Caracterizaci_n_del_uso_de_Aire_Acondicionado.pdf)
12. GOOGLE. (junio de 2017). *Maps*. Obtenido de <https://www.google.com.mx/maps/place/Fuente+de+Apolo+206,+Las+Fuentes,+81223+Los+Mochis,+Sin./@25.8042356,-108.9834151,17z/data=!3m1!4b1!4m5!3m4!1s0x86ba28b36b8106ff:0xc2bcaa7f98ac582d!8m2!3d25.8042356!4d-108.9812264?hl=en>
13. METEORED. (junio de 2017). *meteored.mx*. Obtenido de Histórico del clima en Los Mochis: [https://www.meteored.mx/clima\\_Los+Mochis-America+Norte-Mexico-Sinaloa-MMLM-sactual-22308.html](https://www.meteored.mx/clima_Los+Mochis-America+Norte-Mexico-Sinaloa-MMLM-sactual-22308.html)
14. NABONI, E., LEE, D. S.-H., & FABBRI, K. (2017). Thermal Comfort-CFD maps for Architectural Interior Design. *Procedia Engineering*(180), 110 – 117. Recuperado el 6 de febrero de 2018, de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877705817316776>
15. OLGAY, V. (1998). *Arquitectura y clima. Manual de diseño bioclimático para arquitectos y urbanistas*. Barcelona: Gustavo Gili.
16. OROPEZA PÉREZ, I., & MORILLÓN GALVEZ, D. (2011). Potential of Natural Ventilation in Mexico According to Its Hours of Hygrothermal Comfort. *Smart Grid and Renewable Energy*, 417-426. doi:10.4236/sgre.2011.24048
17. REYES HERRERA, V. A. (2016). *Determinación de la Capacidad de las Torres de Viento para producir confort térmico en el interior de Edificaciones de Zonas Áridas y Semiáridas de México*. Acapulco: VIII Congreso Anual Conjunto de Asociaciones del Sector Energético y XVIII Congreso

- Aual de la AMEE. Obtenido de  
[http://www.groups2go.com.mx/SALON2/3\\_presentacion\\_AMEE.pdf](http://www.groups2go.com.mx/SALON2/3_presentacion_AMEE.pdf)
18. SECRETARÍA DE ENERGÍA (SENER). (2017). *Balance Nacional de Energía 2016* (Primera ed.). México. Obtenido de  
[https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/288692/Balance\\_Nacional\\_de\\_Energ\\_a\\_2016\\_\\_2\\_.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/288692/Balance_Nacional_de_Energ_a_2016__2_.pdf)

## 2.5.4 Estudio de suelo para el desarrollo de materiales constructivos en las zonas semidesérticas del Estado de Nuevo León.

### **Mayra Marcela Rendón Olvera (1)**

Diseñadora Industrial. Maestra en ciencias con especialidad en materiales constructivos de bajo impacto energético (UANL, 2016). Estudios de posgrado en diseño sustentable (Academia de Diseño de Eindhoven Países Bajos, 2005). Profesor del departamento de Diseño Industrial, ITESM.

### **Carlos Humberto Fonseca Rodríguez**

Ingeniero civil. Doctor Ingeniero de Caminos (Universidad Politécnica de Cataluña, Barcelona, España, 1995). Maestro en Ingeniería con Especialidad en Estructuras (Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey, ITESM, Monterrey, México. 1990). Director de Ingeniería, Civil ITESM.

**Dirección (1):** Valparaíso No. 17 – Alta Vista – Monterrey – Nuevo León - 64840 - México - Tel.: (+52) 83 -58-35-57 – e-mail: [mayrarendon@itesm.mx](mailto:mayrarendon@itesm.mx)

## **RESUMEN**

Dentro del marco del ecodiseño para atender las demandas del desarrollo sustentable, el trabajo que se expone en este documento es la continuación de una investigación sobre materiales de edificación de muros de bajo impacto energético y bajo índice de huella hídrica.

El artículo pretende mostrar la continuidad de un análisis de suelo para el diseño de sistemas de construcción en la técnica de “Tierra Vertida Compactada” (TVC) para la región desértica del estado de Nuevo León.

La muestra analizada se tomó de la región semidesértica del municipio de Santa Catarina, y en esta etapa se muestra el mapeo del ciclo de vida del sistema constructivo y los experimentos de granulometría y densidad de la tierra para determinar la calidad del suelo con el fin de determinar la cantidad de agregados y dosificación de agua requerida para la estabilización de los muros. La investigación tiene el objetivo de reducir el consumo de recursos hídricos y energéticos en comparación con los materiales que se consumen en la actualidad. Por otro lado, y para ampliar los beneficios de la propuesta del material en cuestión, se hace uso de la metodología del “análisis del ciclo de vida” para identificar las etapas vulnerables del sistema de edificación y mejorarlo. La investigación responde a la necesidad de encontrar alternativas de sistemas bioclimáticos de construcción con menor huella de carbono y bajo índice de huella hídrica, que reduzcan la depredación de las zonas desérticas, y que se ajusten a la lógica del clima de los desiertos.

**Palabras claves:** Eco-materiales, construcción con tierra, zonas desérticas, bioclimatismo, análisis del ciclo de vida.

## INTRODUCCIÓN

La región semidesértica del estado de Nuevo León comprende principalmente los municipios de García y Santa Catarina (ver figura 1). En estos municipios existe una gran actividad de urbanización debido al crecimiento de la población y porque son parte del área metropolitana de la ciudad de Monterrey.

En estas áreas conurbadas, los materiales utilizados en la construcción de vivienda no corresponden a la lógica del ecodiseño y bioclimatismo (Peña, 2015), lo que afecta directamente en la carga del frágil ecosistema.

Sin embargo, en esta región del estado, el suelo es rico en arcillas y limos, y este tipo de material es el recomendable para la utilización de la técnica de TVC (Rendon, 2017).

En un estudio previo donde se recolectó una muestra del municipio de García, (igualmente perteneciente a la zona desértica de la región como ya se mencionó), se encontró que el suelo analizado pertenece a un suelo arcilloso de alta plasticidad (Rendon, 2017), y se utilizó como referencia para llevar a cabo un análisis comparativo.

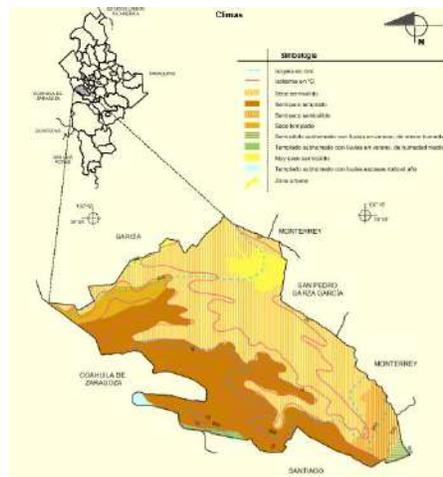


Figura 1: Prontuario de información geográfica y climática del estado de Nuevo León. Municipio de Santa Catarina. Fuente: INEGI

Para este segundo análisis, se recolectó una muestra de tierra del municipio de Santa Catarina, específicamente del parque La Huasteca perteneciente al área protegida del parque Cumbres de Monterrey<sup>4</sup>, y para conocer la clasificación del suelo, se procedió a aplicar los mismos métodos de medición, para posteriormente hacer el análisis comparativo y corroborar que la tierra presenta las mismas características.

<sup>4</sup> Lo procesos para la redelimitación del Parque Nacional Cumbres de Monterrey culminaron con la Publicación en el Diario Oficial de la Federación del nuevo Decreto, el 17 de octubre de 2000, la superficie del parque queda localizada en los municipios de Allende, García, Contamarelos, Monterrey, Rayones, Santa Catarina, Santiago y San Pedro Garza García, (CONANP, 2006).

La finalidad de comparar y encontrar similitudes en la granulometría de dichos sedimentos tiene el objetivo de proponer nuevas opciones de materiales que se apeguen a una lógica adecuada para atender la demanda de escasos hídricos en la región, así como disminuir la sobre explotación de las materias primas en la región, principalmente en los ecosistemas desérticos y el área protegida antes mencionada.

## Antecedentes

La técnica de Tierra Vertida Compactada es una tipología de construcción con tierra para la edificación de muros desarrollada a partir de otra técnica ancestral llamada Tapial. Ambas técnicas se edifican *insitu*, lo que favorece a su ciclo de vida ya que se eliminan las fases de procesamiento y transportación del material, y en su etapa de vida final, el material regresa de forma segura al entorno natural, lo que hace que este material también sea amigable con el ambiente. Por otro lado, a diferencia del tapial, la técnica de TVC es más versátil debido a su proceso de edificación ya que consta de encofrados modulares de diferentes medidas según sean las necesidades de la edificación.

La particularidad de esta técnica con respecto de otras tipologías constructivas radica en la cantidad de insumos necesarios, ya que en esta técnica solo se requiere de dos tipos de agregados cementantes y el agua para activar el aglutinamiento (Rendon, 2017), por tal razón la cantidad de agua puede ser contabilizada con el fin de controlar la dosificación y reducir la huella hídrica. En términos energéticos, esta técnica de eco construcción pudiera ser más eficiente para las zonas desérticas debido a sus cualidades térmicas durante la etapa de vida útil, además de ser un material que no requiere de procesos industrializados.

## Análisis del ciclo de vida

Se utilizó la metodología de “Análisis de Ciclo de Vida” como uno de los criterios para utilizar la tierra como eco-material de construcción, ya que esta metodología permite compilar y examinar las entradas y salidas de materiales, energías y procesos implicados en los impactos ambientales asociados directamente al funcionamiento del producto o sistema en cuestión. Para los fines de la aplicación de la técnica de TVC se llevó a cabo un esquema con el fin de establecer las etapas del ciclo de vida del sistema que se propone e identificar las fases vulnerables para mejorar el desempeño.

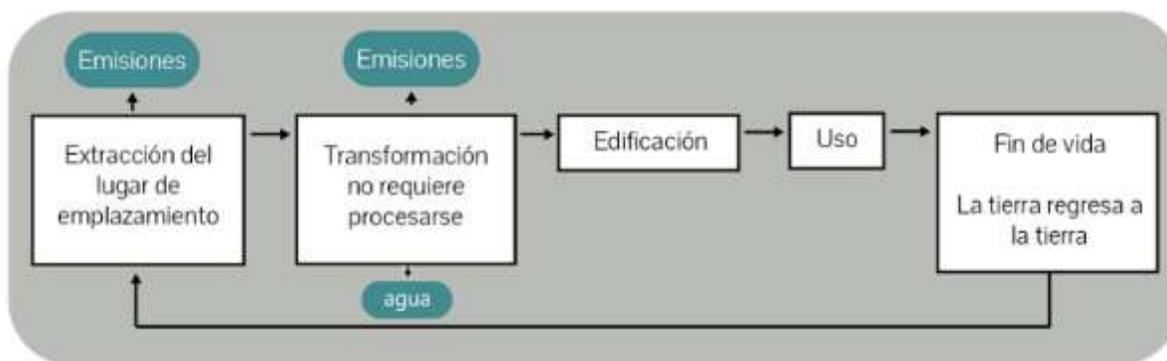


Figura 2: Ciclo de vida del sistema constructivo en TVC. Fuente: Mayra Rendon.

En la figura 2, se establecen las etapas en donde se generan emisiones al ambiente y se requiere el uso del agua. Durante la fase de transformación se advierte que se generan emisiones virtuales, debido a que la técnica necesita de estabilizantes para lograr su rigidez, estos estabilizantes (grava, cemento o cal) también tienen procesos que generan huella de carbono y huella hídrica los cuales están asociados indirectamente al ciclo de vida de este sistema de construcción.

Es en esta etapa en donde se centra la investigación, ya que al identificarse los factores que generan más huella ambiental, se puede incidir en la reducción de agregados y uso del agua, según sea la calidad del tipo de suelo. La recomendación es utilizar un tipo de suelo arcilloso, ya que favorece al desempeño de los agregados y pudieran ser añadidos en menor cantidad con respecto de esta y otras técnicas constructivas; entre más arcilloso sea el suelo, menor suministro de componentes son necesarios para darle rigidez a la estructura del muro (Rendon, 2017).

### Huella hídrica

En un estudio llevado a cabo por la empresa Holcim, se concluyó que para la producción de  $1\text{m}^3$  de concreto se consumen entre  $2,1\text{m}^3$  y  $2,8\text{m}^3$  de agua, seguido por el consumo de agua indirecto debido al consumo de energía (electricidad, diésel, carbón) y la cadena de suministro (Echeverri, 2014). Cabe mencionar que no se tiene estadísticas completas que midan el uso total del agua en la edificación de muros en esta técnica.

Este dato se tomó de referencia para realizar un análisis comparativo en el uso de la técnica de TVC, donde el resultado arrojó que se necesitan 393.8lt de agua por cada metro cubico de mezcla para en este sistema constructivo (Rendon, 2017). Por lo que se determinó que para la producción de  $1\text{m}^3$  de concreto se consumen entre 2,1 y  $2,8\text{m}^3$  de agua es decir entre 2100 litros y 2800 litros de agua, mientras que en la técnica de TVC se utiliza solo entre el 18.75% y 14.06% respectivamente.

### Estudio de suelo

Para llevar a cabo el análisis de la tierra, se realizaron varias pruebas:

- Granulometría por mallas
- Granulometría por sedimentación
- Densidad

En una primera etapa, se llevó a cabo el análisis granulométrico por mallas, para determinar la cantidad en porcentaje de partículas retenidas en los tamices; se determinó que la tierra pertenece a un suelo de partículas finas según el sistema unificado de clasificación de suelos (SUCS)<sup>5</sup>, ya que más el 50% de la muestra paso la malla No.200 y corresponde a una arcilla.

Posteriormente se llevaron a cabo varias pruebas suelos, y se determinó que la muestra analizada tiene una densidad de  $2.66\text{ gr/cm}^3$ , la calidad de la muestra es de un suelo arcilloso inorgánico de alta plasticidad según la norma ASTM D247. Este tipo de suelo es el más deseable para estas

---

<sup>5</sup> El Sistema Unificado de Clasificación de Suelos - SUCS (Unified Soil Classification System) es un sistema de [clasificación de suelos](#) usado en [ingeniería](#) y [geología](#) para describir la [textura](#) y el tamaño de las partículas de un suelo.

construcciones debido a sus características físicas y mecánicas, lo que permite que se requiera de menos recursos hídricos y estabilizantes en la etapa de edificación (Rendon, 2017).

Para las pruebas de edificación, se tomó como referencia de un estudio anterior, los porcentajes donde se mezcló el 13.66% de arena cribada #5, 13.66% cal marca “Calidra”, 13.66% agua potable y 59% de suelo arcilloso, estos porcentajes se tomaron de referencia de pruebas preliminares para la estabilización del suelo. En la figura 3, se muestra que al desmoldarse el encofrado, la prueba de muro no presentó rajaduras ni desmoronamientos.



**Figura 3: Prueba de TVC. Para edificación de muros. Fuente: Mayra Rendon.**

## **Conclusiones**

La región de la zona semidesértica del estado de Nuevo León es una zona con un tipo de suelo privilegiado para la utilización de la técnica de TVC, este suelo al ser arcilloso se puede utilizar como eco-material en la elaboración de sistemas de edificación que favorezca el ecodiseño en la industria de la construcción.

En cuanto a la continuidad del proyecto, se prevé llevar a cabo ensayos de compresión para determinar la resistencia de los muros. Con los resultados obtenidos, se podrán establecer comparaciones que permitan reducir y/o modificar las cantidades en el uso del agua y estabilizantes y mejorar el desempeño de este sistema de eco-construcción para las zonas desérticas y contribuir al cuidado y protección de estos ecosistemas y la preservación del agua.

## **REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

Echeverri, X. (2014). Estimación de la huella hídrica en la extracción de caliza a cielo abierto y propuesta de una política de integración sostenible del recurso hídrico – caso planta Rioclaro, Argos. Medellín, Colombia.

- INEGI. (2018, 08 11). *INEGI*. Retrieved from <http://www.beta.inegi.org.mx/app/buscador/default.html?q=santa+catarina+nuevo+l Leon#tabMCcollapse-Indicadores>
- Peña, L. (2015). *Diseño bBioclimático*. Ciudad Juárez: Universidad Autónoma de Cd. Juárez.
- PNUD. (2016). *http://www.undp.org*. Retrieved 4 19, 2016, from <http://www.undp.org/content/undp/es/home/sdgooverview/post-2015-development-agenda/goal-13.html>
- Rendon, M. M. (2017). *Viviendas sustentables de tierra en las regiones desérticas de Mexico*. Saarbruken: EAE.

## 2.5.5 Desarrollo de papel artesanal a base de desechos agroindustriales tomando en cuenta el ciclo de vida del producto.

**Montero Reyes Andres Arturo** <sup>(1)</sup>

Pasante de la licenciatura Ingeniería en Diseño por la Universidad Tecnológica de la Mixteca (UTM), técnico en informática por el Colegio de Estudios Científicos y Tecnológicos del Estado de Oaxaca PL-18 Tehuantepec.

**M.T.A.M. Dulce María Clemente Guerrero**

Profesor-Investigador en la UTM, Maestría en Tecnología Avanzada de la Manufactura por la UTM, Diseñadora Industrial por la Universidad Autónoma Metropolitana (UAM).

**M.T.A.M. Armando Rosas González**

Profesor-Investigador en la UTM, Maestría en Tecnología Avanzada de la Manufactura por la UTM, Ingeniero en Diseño por la UTM.

**Dirección (1):** Carretera a Acatlima Km. 2.5, Huajuapán de León, Oaxaca – C.P. 69000 – México – Tel: 971 147 3835 – E-mail: [monteroandresarturo@gmail.com](mailto:monteroandresarturo@gmail.com)

### RESUMEN

En el presente artículo se presentan los resultados del proyecto que tuvo como objetivo elaborar un nuevo tipo de papel artesanal a base de residuos agroindustriales, para comparar algunas de sus propiedades con el papel industrial. Los desechos agroindustriales se componen principalmente de tallos, raíces, hojas u otras partes de plantas como el bambú, el carrizo, el plátano, el agave, la piña, y el coco. Dichos residuos son apartados y clasificados como materiales “inútiles” y constituyen una fuente importante de contaminación. Resulta importante indicar que en los últimos años, ha existido una relación directa entre la acumulación excesiva de estos desechos con el incremento de la población humana, ya que se han tenido que destinar grandes cantidades de extensiones de tierra para el cultivo de frutas y vegetales para atender la demanda de alimentos de las personas. El desarrollo de este proyecto constó de 4 etapas, las cuales se obtuvieron al combinar la Metodología de Ecodiseño de la Sociedad Pública de Gestión Ambiental del Gobierno Vasco, IHOBE; y la Metodología de Desarrollo de Productos de Ulrich y Eppinger, a las cuales se agregó una fase experimental. La Etapa 1 constó de toda la investigación de campo y bibliográfica que fue realizada para sustentar el proyecto, también se obtuvo el inventario del Ciclo de Vida del papel industrial. Posteriormente, en la Etapa 2 se utilizó el Método de Diseño de Experimentos para efectuar un conjunto de pruebas con distintas formulaciones de los componentes del papel artesanal, variando las proporciones de fibra y aditivo. En la Etapa 3 se definió el inventario del Ciclo de Vida del papel artesanal, además se determinó el diagrama de procesos de operación para su fabricación. Finalmente, en la Etapa 4 se realizaron un conjunto de pruebas físicas, además se compararon los inventarios del Ciclo de Vida y las características del nuevo papel artesanal y del papel industrial.

**Palabras claves:** Papel Artesanal, Fibra, Aditivo, Plátano, Ciclo de Vida.

### INTRODUCCIÓN.

Los residuos agroindustriales derivados del algodón, lino, cáñamo, yute, sisal, bambú, abacá, piña, coco, plátano y cascarilla de arroz constituyen una fuente importante de contaminación (Gaitán, Fonthal y Ariza-Calderón, 2016). Su excesiva acumulación está relacionada con el aumento de la población, ya que se han tenido que destinar amplias extensiones de tierra para su cultivo, lo cual ha generado grandes cantidades de fibras como desecho que no tienen un valor económico significativo. Esto ha ocasionado que dichos materiales se vayan acumulando en basureros

improvisados o que sean quemados al aire libre. La mayoría de estos desechos están compuestos principalmente por tallos, raíces, hojas u otras partes de plantas; son apartados y clasificados como materiales “inútiles” (Eskulan, 2011). El plátano es una fruta que tarda en ser cosechada de 9 a 12 meses, los agricultores tienen que cortar la mata de la planta una vez que el fruto está maduro. En promedio, los plátanos recolectados representan el 12% del peso total de las matas cortadas, los frutos son los únicos elementos que son aprovechados y el resto de material es considerado como residuo agroindustrial (GINUMA, 2000). Derivado de esto, se ha estimado que por cada mata cosechada son generados 60 kg de pseudotallo y que en cada hectárea cultivada se producen 2600 matas (CONACYT, 2016). En el año 2016, la SAGARPA informó que en México se obtuvo un volumen de 2.4 millones de toneladas de plátano en una superficie de 78600 hectáreas, generando un desperdicio de 214.36 millones de matas de plátano. Para el desarrollo de esta investigación se tomó como referencia a la Heroica Ciudad de Huajuapán de León, Oaxaca; ya que en este lugar se generaron 1255020 de las 9540570 matas de desperdicio de plátano a nivel estatal, esto facilitó la obtención del material para la formulación del nuevo papel artesanal.

Actualmente, se está utilizando una gran variedad de fibras naturales en la fabricación de papel (Eskulan, 2011), artesanías y madera (Mannise, 2016); ya que poseen diversas ventajas en aspectos productivos (fácil adquisición, bajo costo de procesamiento), físicos (baja densidad, características de aislamiento y resistencia estructural) y bioquímicos (inocuidad, fácil degradación) (Gaitán et. al, 2016). Por lo tanto, se decidió elaborar un papel a base de fibras naturales del plátano consideradas como desechos agroindustriales, con la finalidad de proyectar un proceso que ayudará a preservar el medio ambiente, reduciendo el impacto ambiental negativo ocasionado por la producción de papel industrial<sup>6</sup>; actividad que ha incrementado la tala de árboles, la contaminación del agua y ha reducido la sostenibilidad de los ecosistemas.

## OBJETIVOS.

- Planear y realizar experimentos, utilizando fibras de plátano y aditivos naturales, para obtener distintas formulaciones del nuevo papel artesanal.
- Aplicar diferentes pruebas, tales como medición de la masa base ( $\text{g/m}^2$ ), absorbencia (s), espesor del papel ( $\mu\text{-micras}$ ), densidad ( $\text{g/cm}^3$ ), pruebas de escritura e impresión a una de las formulaciones seleccionadas del nuevo papel artesanal.
- Comparar las características y los inventarios del Ciclo de Vida del papel artesanal obtenido y del papel industrial para identificar los aspectos mejorados mediante las estrategias del Ecodiseño.

## METODOLOGÍA EMPLEADA.

La metodología que se empleó para el desarrollo de este proyecto es una combinación de la propuesta por la Sociedad Pública de Gestión Ambiental del Gobierno Vasco, IHOBE; en conjunto con la Metodología de Ulrich y Eppinger para el desarrollo de productos. A la par, se empleó el Método de Diseño de Experimentos, mediante el cual se definieron las proporciones de los materiales para obtener distintas formulaciones del papel artesanal. La Figura 1 muestra el esquema general de las etapas que se cumplieron; además, en la Tabla 1 se presenta de forma detallada la metodología con cada una de las herramientas del Ecodiseño que se aplicaron.



Figura 1. Etapas de la metodología aplicada.

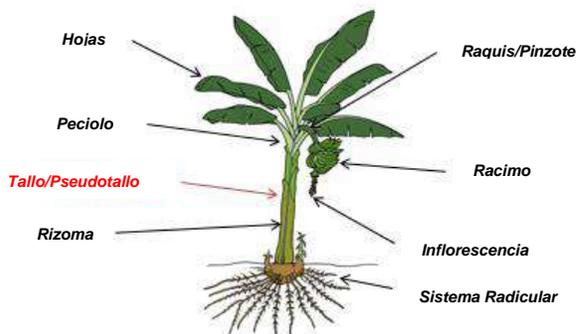
Tabla 1. Etapas y herramientas del Ecodiseño conjuntadas en la metodología propuesta.

<sup>6</sup> Papel Industrial: Papel bond blanco multipropósito con un gramaje de  $75 \text{ g/m}^2$ .

ETAPA DE LA METODOLOGÍA	ACTIVIDADES
1. INVESTIGACIÓN	<ul style="list-style-type: none"> <li>Investigación bibliográfica con la información que sustentó el desarrollo del proyecto.</li> <li>Análisis de las entradas y salidas en el inventario del Ciclo de Vida del producto de referencia (papel industrial).</li> <li>Investigación de las estrategias de Ecodiseño analizadas en el inventario del Ciclo de Vida del producto de referencia.</li> </ul>
2. DISEÑO EXPERIMENTAL	<ul style="list-style-type: none"> <li>Selección de las estrategias de Ecodiseño que fueron aplicadas.</li> <li>Diseño de formulaciones y realización de experimentos.</li> <li>Aplicación de pruebas (absorbencia, dobles, gramaje, densidad, impresión y escritura).</li> </ul>
3. DESARROLLO DE PRODUCTO	<ul style="list-style-type: none"> <li>Elaboración del papel con la formulación seleccionada.</li> <li>Diseño del diagrama de proceso de operaciones del papel artesanal.</li> <li>Análisis de las entradas y salidas del inventario del Ciclo de Vida de la formulación seleccionada.</li> </ul>
4. EVALUACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	<ul style="list-style-type: none"> <li>Comparación de los inventarios del Ciclo de Vida del papel industrial y del papel artesanal.</li> </ul>

### ETAPA I: INVESTIGACIÓN.

El papel es un material con estructura porosa en forma de hojas que está constituido por fibras entrelazadas. Es fabricado a partir de una pasta o suspensión acuosa de fibras que se pasa a través de una malla y posteriormente se seca de forma sucesiva (CAPA, 2017). Las fibras por lo general son de naturaleza vegetal, aunque también pueden ser de origen mineral, animal o sintético. La Cámara Argentina del Papel y Afines (CAPA) clasifica a los papeles en los siguientes 4 grandes grupos: **Gráficos** (*papel prensa para periódicos, papeles para la edición de libros, folios, sobres, carpetas, cuadernos*), **para Envases y Embalajes** (*para cajas de cartón ondulado, cajas de cartón estucado, bolsas, sacos*), **Higiénicos y sanitarios** (*papel higiénico, toallitas, pañuelos, de cocina, servilletas*) y **Especiales** (papeles de seguridad, filtro, decorativo, autoadhesivo, metalizado).



**Figura 2. Morfología de la planta de plátano.**

Figura 2, la planta tiene distintas partes, pero solo se ocupó el pseudotallo debido a que es la parte con más fibra; además, los agricultores lo consideran un residuo agroindustrial porque siempre se desecha una vez que son cosechados los frutos. Como parte fundamental para la realización de esta investigación se consideraron aspectos relacionados al Ecodiseño, el cual es un concepto a través del cual se ha buscado generar productos y servicios ambientales en los últimos años, como respuesta a la creciente contaminación y deterioro del medio ambiente. El Ecodiseño incorpora criterios ambientales en la fase de concepción y desarrollo de cada producto o servicio; tomando

Existen normas que establecen parámetros para las pruebas y definiciones en la industria del papel, entre las más utilizadas se encuentran las normas TAPPI (Technical Association for de Pulp & Paper Industry). El estándar T410 de la TAPPI se empleó en esta investigación como referencia para hacer el cálculo de la masa base (gramaje), la cual es una característica fundamental del papel que está expresada en unidades de  $g/m^2$  en el Sistema Internacional. Para el desarrollo de este proyecto se utilizó el pseudotallo del plátano como materia prima en la elaboración del papel artesanal. Como se muestra en la

medidas preventivas para disminuir los impactos ambientales de estos en las diferentes fases de su Ciclo de Vida, desde su producción hasta su eliminación (IHOBE, 2000). La identificación de puntos de mejora mediante el análisis ambiental de productos y servicios; además de la aplicación de las 8 estrategias del Ecodiseño, pueden traducirse en acciones concretas que pueden disminuir el daño al medio ambiente. Como resultado de esta fase inicial se obtuvo el inventario con las entradas, procesos y salidas suscitadas durante el Ciclo de Vida del papel industrial, el cual se muestra en la Figura 3.

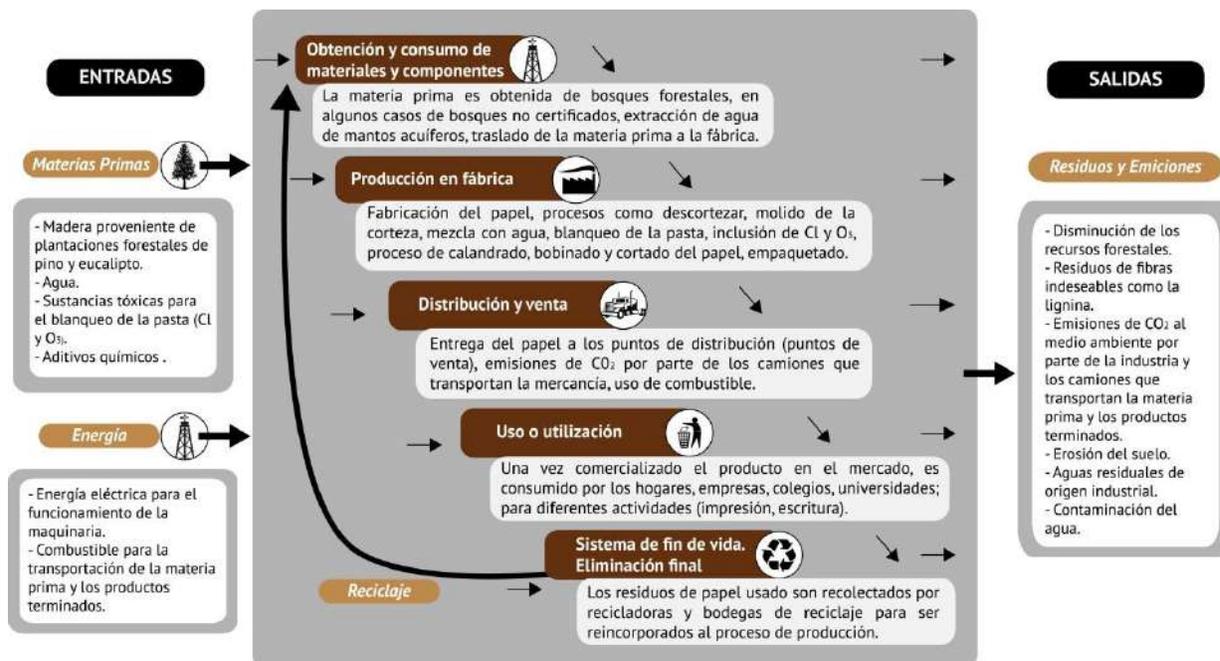


Figura 3: Esquema del inventario del Ciclo de Vida del papel industrial.

## ETAPA II: DISEÑO EXPERIMENTAL.

Como parte de la metodología propuesta, se decidió aplicar el Método de Diseño de Experimentos para obtener distintas formulaciones del papel artesanal. Primero, como se observa en la Tabla 2, se seleccionaron algunas estrategias del Ecodiseño para mitigar el impacto ambiental identificado en el inventario del Ciclo de Vida del papel Industrial e implementarlas en la producción del nuevo papel artesanal.

Tabla 2: Estrategias del Ecodiseño seleccionadas para la generación del nuevo papel artesanal.

ETAPAS DEL CICLO DE VIDA	ESTRATEGIAS	MEDIDAS SELECCIONADAS
<ul style="list-style-type: none"> <li>Obtención y consumo de materiales y componentes</li> </ul>	1.- Seleccionar materiales de bajo impacto.	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Uso de un residuo agroindustrial (fibra de pseudotallo de plátano) para sustituir a la celulosa tradicional.</li> <li>➤ Uso de papel reciclado como matriz base.</li> <li>➤ Uso de aditivos naturales para brindar propiedades como resistencia, permeabilidad, textura ideal para la impresión del papel.</li> </ul>

<ul style="list-style-type: none"> <li>• Producción en fábrica</li> </ul>	3.- Seleccionar técnicas de producción ambientalmente eficientes.	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Eliminación de blanqueadores químicos y sustancias tóxicas.</li> <li>➤ Proceso manual (artesanal) de elaboración, para disminuir en gran medida el consumo de energía.</li> <li>➤ Utilización de energía solar para el secado.</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sistema de fin de vida, eliminación final</li> </ul>	8.- Optimizar el sistema de fin de vida.	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Reciclar el papel.</li> <li>➤ Fácil biodegradación en el medio ambiente.</li> </ul>

Posteriormente, se definió un diseño factorial  $2^2$  el cual permitió obtener distintas formulaciones donde se varió la cantidad de fibra y aditivo, manteniendo constante la proporción de papel reciclado. La Tabla 3 presenta las formulaciones ocupadas para la obtención de probetas del papel artesanal (Figura 4). En la Tabla 4 se muestran los resultados obtenidos en diversas pruebas físicas hechas al papel artesanal; puede observarse que la formulación compuesta por 70% de aditivo y 30% fibra tuvo una mayor resistencia al doblez, mejor resistencia a la absorbencia, un grosor de 16 micras y una densidad mayor que la otra formulación. Por lo tanto, dicha formulación fue la seleccionada para efectuar una comparación de sus características físicas con el papel industrial, tal como se presenta en la Tabla 5.



**Figura 4: Probetas de las 3 corridas, por cada formulación.**

**Tabla 3: Diseño de experimentos, porcentaje de cada componente en el papel.**

Componente/Formulación	I	II
Fibra	70%	30%
Aditivo	30%	70%
Papel Reciclado	Constante	Constante

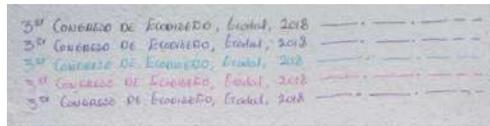
**Tabla 4: Resultados obtenidos de las pruebas y mediciones realizadas a las probetas.**

Prueba	Formulación I	Formulación II
Grosor de papel	17 micras	16 micras
Resistencia al doblez	97 dobleces	128 dobleces
Absorbencia	9.7 segundos	11.8 segundos
Gramaje	112.4 g/m <sup>2</sup>	110.16 g/m <sup>2</sup>
Densidad	67.02 g/cm <sup>3</sup>	68.85 g/cm <sup>3</sup>

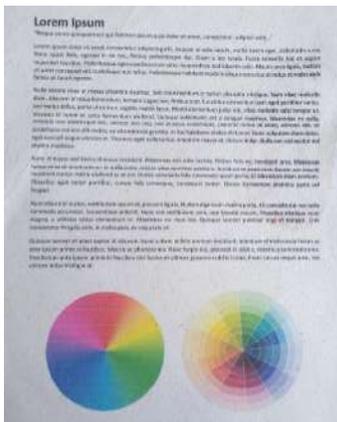
**Tabla 5: Comparación de datos papel ecológico vs papel tradicional.**

Prueba	Papel Industrial	Papel Artesanal
Grosor de papel	3 micras	16 micras
Resistencia al dobléz	174 dobleces	128 dobleces
Absorbencia	62 segundos	11.8 segundos
Gramaje	75 g/m <sup>2</sup>	110.16 g/m <sup>2</sup>
Densidad	250 g/cm <sup>3</sup>	68.85 g/cm <sup>3</sup>

Por otra parte, se realizaron pruebas de escritura con plumas punto fino (Figura 5) impresión por inyección de tinta (Figura 6 y 7) y pintura con acuarela (Figura 8); la formulación seleccionada del papel artesanal resultó ser un soporte adecuado en ambos casos



**Figura 5: Prueba de escritura con plumas punto fino 0.7 mm.**



**Figura 6: Impresión por medio de una impresora convencional a color.**



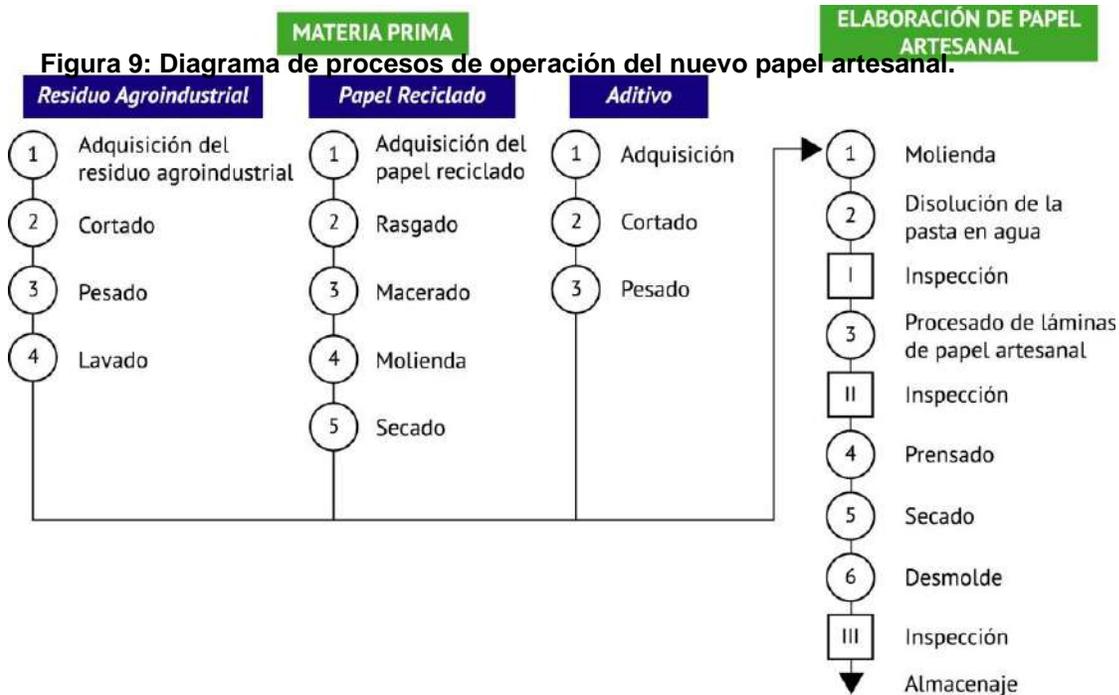
**Figura 7: Impresión en plotter de un diploma.**



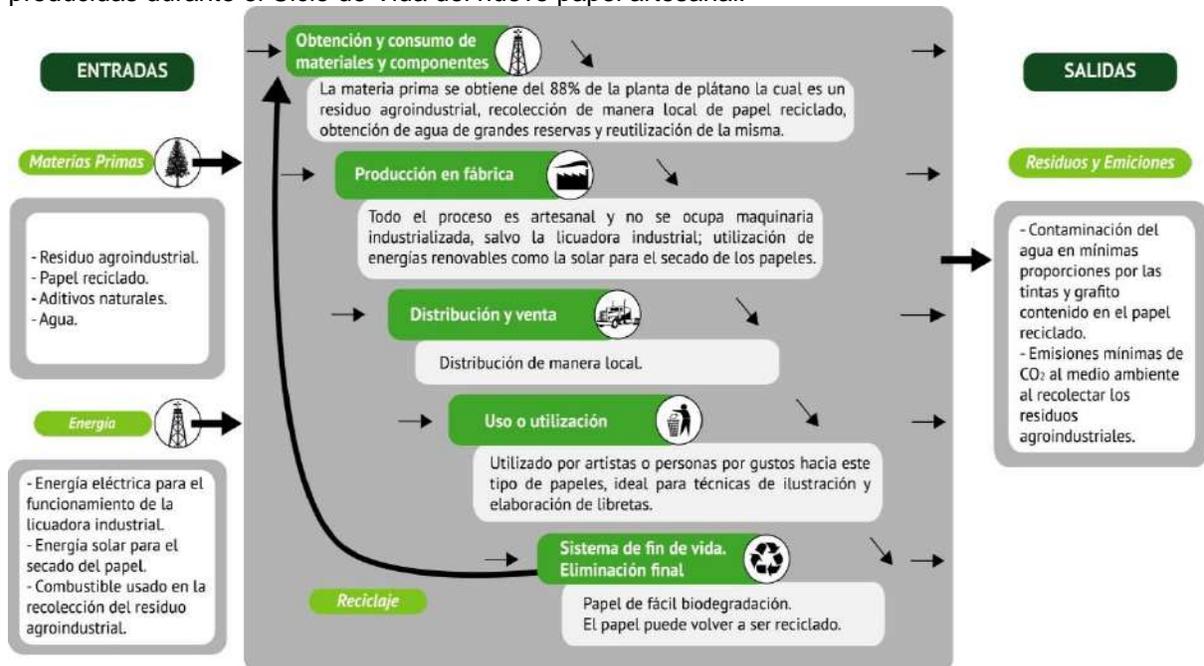
**Figura 8: Prueba de trabajo en acuarela.**

**ETAPA III: DESARROLLO DEL PRODUCTO.**

En esta etapa se elaboró el diagrama de procesos de operación del nuevo papel artesanal mostrado en la Figura 9; en el cual se desglosan en primer lugar, las acciones que son requeridas para preparar las materias primas (papel reciclado, desecho agroindustrial y aditivo) de la formulación que fue seleccionada. Posteriormente, se especifican las actividades que son necesarias para fabricarlo, las cuales incluyen 6 operaciones y 3 inspecciones.



Además, se elaboró el esquema de inventario del Ciclo de Vida del nuevo papel artesanal presentado en la Figura 10. En dicho gráfico se muestran de forma detallada las entradas, procesos y salidas producidas durante el Ciclo de Vida del nuevo papel artesanal.



**Figura 10: Esquema del inventario del ciclo de vida del papel artesanal.**

#### ETAPA IV: EVALUACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.

Como se muestra en la Tabla 6, en la última etapa de la metodología aplicada se contrastaron las ventajas y desventajas que posee el nuevo material desarrollado y el papel industrial, a través de la comparación de los inventarios del Ciclo de Vida de cada uno de ellos.

**Tabla 6: Cuadro comparativo de las entradas y salidas de los inventarios del ciclo de vida del papel industrial vs el papel artesanal.**

PAPEL INDUSTRIAL		PAPEL ARTESANAL	
ENTRADAS	SALIDAS	ENTRADAS	SALIDAS
<p><b><u>Materias Primas</u></b></p> <p>1.- Madera proveniente de plantaciones forestales de pino y eucalipto.</p> <p>2.- Agua.</p> <p>3.- Sustancias tóxicas para el blanqueo de la pasta (Cl y O<sub>3</sub>).</p> <p>4.- Aditivos químicos</p> <p><b><u>Energía</u></b></p> <p>1.- Energía eléctrica para el funcionamiento de la maquinaria.</p> <p>2.- Combustible para la transportación de la materia prima y los productos terminados.</p>	<p><b><u>Residuos y Emisiones</u></b></p> <p>1.- Disminución de los recursos forestales.</p> <p>2.- Residuos de fibras indeseables como la lignina.</p> <p>3.- Emisiones de CO<sub>2</sub> a medio ambiente por parte de la industria y los camiones que transportan la materia prima y los productos terminados.</p> <p>4.- Erosión del suelo.</p> <p>5.- Aguas residuales de origen industrial.</p> <p>6.- Contaminación del agua.</p>	<p><b><u>Materias Primas</u></b></p> <p>1.- Residuo agroindustrial.</p> <p>2.- Papel reciclado.</p> <p>3.- Aditivos naturales.</p> <p>4.- Agua.</p> <p><b><u>Energía</u></b></p> <p>1.- Energía eléctrica para el funcionamiento de la licuadora industrial.</p> <p>2.- Energía solar para el secado del papel.</p> <p>3.- Combustible para el transporte de la materia prima.</p>	<p><b><u>Residuos y Emisiones</u></b></p> <p>1.- Contaminación del agua en mínimas proporciones por las tintas y grafito contenido en el papel reciclado.</p> <p>2.- Emisiones mínimas de CO<sub>2</sub> al medio ambiente al recolectar los residuos agroindustriales.</p>

Como resultado del análisis anterior se obtuvieron las siguientes conclusiones:

1. En lo referente a las materias primas, se sustituyó la madera proveniente de las plantaciones forestales ocupada en la fabricación del papel industrial. De esta forma se reducirá la tala indiscriminada de árboles, se aprovechará el desecho agroindustrial del pseudotallo de plátano y se reciclará papel.
2. En la elaboración del nuevo papel artesanal se sustituyeron aditivos químicos por aditivos naturales, eliminando así la presencia de sustancias tóxicas.
3. Se aprovechará la energía solar en el proceso de fabricación del nuevo papel artesanal.
4. La cantidad de energía eléctrica utilizada en la elaboración del nuevo papel artesanal disminuirá como consecuencia de la exclusión de maquinaria que comúnmente se usa para la obtención de la celulosa proveniente de la madera para la fabricación del papel industrial.
5. Se ocupará papel reciclado para la elaboración del nuevo papel artesanal, esto suprimirá la energía y los procesos que son utilizados en la generación de papel virgen.
6. La fabricación de papel industrial contamina el agua con sustancias tóxicas difíciles de eliminar. En cambio, la elaboración del papel artesanal contaminará mínimamente el agua con tintas y grafito del papel reciclado.
7. La fabricación del papel industrial añade 6 residuos y emisiones que impactan al medio ambiente, mientras que la elaboración del nuevo papel artesanal sólo reúne 2 residuos y emisiones.

El papel artesanal hecho a base de fibras de plátano generado en esta investigación posee propiedades que hacen factible su uso en actividades relacionadas con las artes plásticas, principalmente en la pintura. Presenta un adecuado manejo y comportamiento en técnicas de pintura

donde los colores requieren diluirse en agua, por ejemplo: la acuarela, acrílico, plumones y pluma. Adicionalmente, el nuevo papel artesanal permite la impresión con inyección de tinta de reconocimientos, diplomas y otros documentos con valor especial.

Con el desarrollo de este nuevo material se busca crear una nueva conciencia en la industria del papel para emplear continuamente energías limpias, disminuir el uso de sustancias tóxicas y químicas, así como para aprovechar los residuos agroindustriales y aumentar el reciclado de papel.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. **CAPA.** (2017). Cámara Argentina del Papel y Afines. Recuperado el 24 de Agosto de 2018, de <http://www.camarapapel.org.ar/papel-tipos-aplicaciones.php>
2. **CONACYT.** (01 de Julio de 2016). CONACYT agencia informativa. Recuperado el 14 de Abril de 2018, de CONACYT agencia informativa, <http://www.conacytprensa.mx/index.php/tecnologia/bio-tecnologia/8476-generacion-de-celulosa-a-partir-de-desechos-de-la-planta-del-platano>
3. **Eskulan.** (30 de Septiembre de 2011). Eskulan, taller de papel hecho a mano. Recuperado el 4 de Agosto de 2017, de <http://eskulan.com/2011/09/30/elaboracion-de-papel-con-pinzote-de-banano-como-materia-prima/>
4. **Gaitán, A., Fonthal, G. y Ariza-Calderón, H.** (2016). Fabricación y propiedades físicas de aglomerados de *Pennisetum purpureum schum*, *Philodendron longirrhizum* y *Musa acuminata*. Revista Ciebciás Técnicas Agropecuarias, Vol. 25(No. 1), pp. 5-11.
5. **GINUMA.** (2000). Universidad Pontificia Bolivariana. Recuperado el 04 de Diciembre de 2017, de [http://virtual.upb.edu.co/pls/portal/PORTAL.www\\_media.show?p\\_id=38135459&p\\_settingssetid=4&p\\_settingssiteid=0&p\\_siteid=234&p\\_type=basetext&p\\_textid=38135460](http://virtual.upb.edu.co/pls/portal/PORTAL.www_media.show?p_id=38135459&p_settingssetid=4&p_settingssiteid=0&p_siteid=234&p_type=basetext&p_textid=38135460)
6. **IHOBE.** (2000). MANUAL PRÁCTICO DE ECODISEÑO, Operativa de Implantación en 7 pasos. España: Berekintza.
7. **Mannise, R.** (01 de Julio de 2016). Ecocosas, Difundiendo conocimientos ecológicos. Recuperado el 13 de Noviembre de 2017, de <https://ecocosas.com/eco-ideas/franceses-crean-madera-a-partir-de-fibras-de-banano/#forward>
8. **SAGARPA.** (28 de Febrero de 2017). [sagarpa.gob.mx](http://www.sagarpa.gob.mx). Recuperado el 22 de Octubre de 2017, de [http://www.sagarpa.gob.mx/Delegaciones/distritofederal/boletines/Paginas/JAC\\_0080\\_28.aspx](http://www.sagarpa.gob.mx/Delegaciones/distritofederal/boletines/Paginas/JAC_0080_28.aspx)
9. **Vasco, G.** (2000). MANUAL PRÁCTICO DE ECODISEÑO - Operativa de Implantación en 7 pasos. IHOBE, S.A.

## 2.5.6 Construcción con madera masiva. Propuesta para construir edificios bajos en carbono en Zapopan.

**Hernández Cárdenas, Christian** <sup>(1)</sup>

Arquitecto por el ITESM, y Maestro en Proyectos y Edificación Sustentables por el ITESO. Cuenta con experiencia como arquitecto de proyectos, ingeniería de costos, superintendente en obra pública y privada, incluyendo construcción en madera.

**Dirección (1):** Av. Venecia, 1162-57 – Palermo – Zapopan - Jalisco - 45200 - México - Tel.: (+52) 354-108-4791 - e-mail: [christian.hc84@gmail.com](mailto:christian.hc84@gmail.com)

### RESUMEN

La construcción convencional genera una importante huella de carbono debido a las emisiones de la fabricación del cemento y el acero. El sistema constructivo de **madera masiva** es una alternativa contemporánea e innovadora, en el cual se almacena el CO<sub>2</sub> que los árboles capturaron durante su crecimiento. En este trabajo se evaluó positivamente la viabilidad estructural y económica para introducir este sistema en **Zapopan**, a partir de estudios para determinar los **esfuerzos permisibles** de la **madera de San Juan Nuevo**, aprovechando que el reglamento de construcción permite edificar estructuras de **marcos contraventeados** de madera de trece metros de altura.

**Palabras claves:** madera masiva, esfuerzos permisibles, madera de San Juan Nuevo, marcos contraventeados, Zapopan.

### INTRODUCCIÓN

De acuerdo con datos del Banco Mundial (2018), la población urbana mundial creció del 33.5% en 1960, al 54.3% en 2016, mientras que en México el incremento fue del 51% al 80% durante el mismo periodo. Este acelerado crecimiento está creando un modelo de ciudad que Artunduaga & Ríos (2017), definen como ciudad difusa, la cual se caracteriza por contener “desarrollos inmobiliarios horizontales, bajas densidades habitacionales, alta especialización del suelo y despreocupación por la consolidación de centralidades para la vida comunitaria, social y política” (p.31). Además, esta dispersión ha provocado una saturación de automóviles particulares, aumentando la contaminación del aire, y el tiempo y costo de los desplazamientos dentro de las ciudades, a niveles que reducen significativamente la calidad de vida de sus habitantes.

La solución que se propone para combatir esta problemática es el modelo de ciudad compacta. Una de las acciones necesarias para lograr este modelo de ciudad es construir edificios de usos mixtos de mediana altura para densificar las centralidades urbanas. El municipio de Zapopan lo ha plasmado en el Plan de Ordenamiento Territorial Metropolitano, donde propone “densificar el área urbanizada y promover los usos mixtos” (IMEPLAN, 2016, p.136).

Sin embargo, si estos edificios se construyen convencionalmente generarán una importante huella de carbono durante su fase de construcción, porque de acuerdo con CREARA (2013), la fabricación del cemento y el acero producen el 4.33% y el 1.1% de las emisiones mexicanas de gases de efecto invernadero (GEI). Este impacto puede parecer el menor, visto desde la perspectiva del análisis del ciclo de vida de un edificio, como lo afirma la UNEP (2009), la fase de construcción de los edificios representa solamente el 20% de sus emisiones, mientras que el 80% restante es producido por la energía consumida durante la fase de operación. Debido a esta apreciación, las iniciativas más usadas actualmente en México para reducir las emisiones de los edificios, como el programa gubernamental mexicano ECOCASA y la certificación estadounidense LEED, se enfocan principalmente en premiar la reducción de los consumos energéticos de la fase de operación. Por

otra parte, se percibe poco probable que estos programas cambien su enfoque para premiar más a quien reduzca las emisiones de la fase de construcción, debido a que esto resultaría en acciones que parecerían perjudicar a las industrias del cemento y el acero, lo cual no es visto como políticamente correcto. También, en la medida en que estos programas tengan mayor éxito, los porcentajes de emisiones causadas por las fases de construcción y operación se invertirán, siendo la fase de construcción la de mayor impacto.

Todos los materiales de construcción convencionales tienen una huella negativa de carbono, excepto la madera, la cual captura CO<sub>2</sub> durante su crecimiento. Los análisis de ciclo de vida realizados por Buchanan et al. (2013), muestran “que el carbono secuestrado en los productos de madera durante la vida del edificio compensa aproximadamente todas las emisiones de dióxido de carbono de la producción de todos los demás materiales en el edificio” (p.16). En este sentido, Green & Karsh (2013) afirman que la clave para lograrlo es cosechar la madera de manera responsable.

En este sentido, Chapela (2012) explica que la deforestación producto de los sistemas de pastoreo, la expansión de la agricultura y la tala clandestina han moldeado la configuración de los bosques mexicanos, haciendo que el volumen promedio de madera en rollo disponible por hectárea disminuyera de 73.15 m<sup>3</sup> rollo en 1979 hasta 35.92 m<sup>3</sup> rollo en 2010. Sin embargo, en regiones forestales certificadas donde existe un manejo comunitario, como en la Comunidad Indígena de Nuevo San Juan Parangaricutiro (CINSJP), Michoacán, y en la Sierra Norte de Oaxaca este volumen es de 73.22 m<sup>3</sup> rollo y 143.54 m<sup>3</sup> rollo respectivamente.

Un común denominador de estas comunidades es que sus bosques y aserraderos están certificados por el Forest Stewardship Council (FSC), la cual es la certificadora forestal con más presencia en el país. La importancia de la certificación radica en que no toda la madera legal es sustentable, ya que puede contar con sus permisos de explotación pero las prácticas pueden no ser las ideales. Por esto es necesario que cualquier industria que use intensivamente madera mexicana, utilice solamente madera proveniente de bosques certificados, ya que es la mejor garantía de que se está cuidando la biodiversidad y que la extracción de esta madera está dentro de los ciclos de regeneración natural de la misma.

En México existe la creencia de que el país no cuenta con recursos forestales importantes, sin embargo Gernandt & Pérez-de la Rosa (2013) afirman que en México se encuentran 49 de las 120 especies del género Pinus del mundo. Por su parte, Chapela (2012) muestra que 67 de las 190 millones de hectáreas del país están cubiertas de bosques y selvas, entre los cuales existe un volumen anual de producción sostenible potencial es de 28 millones de m<sup>3</sup> rollo. Y los datos de la SEMARNAT (2016) indican que en el 2015 la producción anual de madera en México fue de 6.12 millones de m<sup>3</sup> rollo, es decir el 21.86% de la capacidad sostenible natural. En este sentido, Chapela (2012) afirma que esta situación ha provocado que las autorizaciones de corte estén disminuyendo debido a la falta de proyectos silvícolas viables. Este sub-aprovechamiento de la madera en México es un claro indicador del potencial que tiene el desarrollo de una industria de la construcción con madera en el país, como un detonante para crear un mercado de madera nacional certificada que beneficie a las comunidades productoras.

La creación de este mercado representa una gran oportunidad para el desarrollo rural del país porque de acuerdo con Fernández (2015), en México el 95% de la superficie forestal certificada se encuentra en algún régimen de propiedad comunitaria, a diferencia del resto del mundo donde el 98% de los bosques productivos son propiedad privada. Esta particularidad beneficiaría económica y socialmente a las comunidades forestales, evitando la migración a las ciudades al crearse empleos y oportunidades para sus habitantes. De igual manera, los beneficios económicos derivados de la explotación sustentable de la madera serían el freno más efectivo al cambio de uso de suelo que tiene bajo presión a los bosques y selvas del país.

Una de las comunidades más representativas que cuentan con la certificación FSC es la CINSJP, la cual es reconocida desde hace tiempo por su manejo forestal sustentable. García-Frapolli, & Cisneros (2011) describen que esta comunidad obtuvo en la década de 1990 el Premio al mérito Nacional Forestal y la certificación al Buen Manejo Forestal. Por su parte el FSC (2018) muestra en sus registros que los bosques y el aserradero de la comunidad están certificados desde el 2006. Otra característica de la CINSJP es la cantidad de artículos científicos que se han publicado sobre diversos temas relacionados con su actividad forestal, entre los que destaca para esta investigación el de Ordóñez et al. (2001) donde se hizo un estudio del potencial de captura de CO<sub>2</sub> del bosque de la CINSJP. Por último, de acuerdo a una nota periodística de Tapia (2017) nos damos cuenta que el 25 de julio del 2017 fue inaugurado el nuevo aserradero de la CINSJP, el cual les permitió aumentar su producción y calidad de madera aserrada, convirtiéndose en el más moderno de México. Estas características en conjunto con la posibilidad que tiene la CINSJP de ofrecer madera aserrada estufada y la relativa cercanía al AMG, hacen de su madera una de las mejores opciones para fabricar los paneles de ingeniería necesarios para construir edificios de madera masiva en Zapopan.

Volviendo al AMG, Lara (2016) afirma que las tendencias en el crecimiento poblacional y el desarrollo inmobiliario, sugieren que para la próxima década el municipio de Zapopan superará a Guadalajara en población y superficie urbana, necesiándose 38 mil hectáreas más para satisfacer la demanda si es que se siguen construyendo desarrollos horizontales de baja densidad. Sin embargo, el Municipio de Zapopan (2014) cuenta con un reglamento de construcción que permite la construcción de estructuras de marcos contraventeados de madera de hasta trece metros de altura y estructuras de entramado ligero de hasta nueve metros de altura, lo que abre la posibilidad de construir edificios de usos mixtos bajos en carbono que ayuden a detener la dispersión urbana, y transformar la morfología de sus zonas urbanas hacia el modelo de ciudad compacta.

El sistema constructivo de entramado ligero es el más usado en Estados Unidos y Canadá para construir viviendas, sin embargo este sistema tiene la limitante de funcionar estructuralmente con muros de carga, razón por la cual no es viable su utilización en zonas sísmicas para construir edificios de usos mixtos, donde se necesitan plantas libres en los primeros niveles para el comercio y oficinas, ya que no se contaría con la continuidad de los elementos estructurales desde la cimentación hasta el último nivel. Por otro lado, con el sistema constructivo de madera masiva si se pueden construir estructuras de marcos facilitando la configuración de plantas libres.

Podemos definir el sistema constructivo de madera masiva como el que se integra con diferentes paneles de madera de ingeniería, compuestos por varias capas de madera laminada, los cuales se unen entre sí mediante conexiones metálicas, y según su diseño pueden funcionar estructuralmente como columnas, muros, vigas y losas.

El principio de la madera laminada consiste en unir piezas pequeñas de madera para formar elementos estructurales más grandes con una influencia de defectos menor que una pieza de madera aserrada, debido a que las imperfecciones como nudos o resinas pueden ser eliminadas en el proceso de fabricación (Robles & Echenique, 1983).

De acuerdo con García et al. (2002), el primero en diseñar y construir un elemento laminado estructural fue el arquitecto Philibert Delorme, quien en 1561 diseñó un sistema que consistía en arcos formados por pequeñas piezas de madera unidas entre sí con cuñas de madera, este tipo de panel se puede clasificar como madera laminada clavijada.

Koo (2013), muestra como desde 1850 y hasta 1940 se construyeron en Canadá varios edificios conocidos como Brick and Beam, los cuales se componen de muros de cortante perimetrales de ladrillo y marcos interiores de madera sólida, con entrepisos de tablas de madera dispuestas de canto y clavadas entre sí, a este tipo de paneles de entrepiso se le conoce como madera laminada clavada.

García et. al (2002) describe un avance significativo en 1906 en Alemania, donde Karl-Friedrich-Otto Hetzer reemplazó los pernos, clavos y las bridas metálicas por adhesivos a base de caseína, naciendo el concepto moderno de la madera laminada encolada, con el cual se pueden hacer vigas y columnas.

Otro avance importante fueron los paneles de madera contralaminada, los cuales de acuerdo con Schickhofer & Hasewend (2000) y Brandner (2013), fueron desarrollados en 1990 en la universidad de Graz, Austria, a partir de ideas de concepto generadas desde 1974. Este tipo de paneles se componen de varias capas de madera pegadas entre sí a 90 grados, y pueden ser utilizados indistintamente como muros o losas. Más recientemente se han desarrollado algunos paneles de madera de ingeniería con diferentes tecnologías, sin embargo los descritos anteriormente son los más usados en la actualidad.

Los primeros edificios contemporáneos que se consideran de madera masiva fueron construidos exclusivamente con muros de carga y losas de madera contralaminada en Austria, a partir de 1998, entre estos se encuentra el Centro de Tecnología de la Construcción de la universidad de Graz, el cual sigue en funcionamiento (Schickhofer & Hasewend, 2000). Un hito importante se dio con la construcción en madera contralaminada del edificio Stadhaus en Londres. Se trata de una torre de 9 niveles con 29 departamentos. El edificio fue propuesto en el 2007 por el despacho Waugh Thistleton y completado en el 2009. La realización de esta obra rompió los límites preconcebidos de las construcciones de madera y generó un impulso global para el desarrollo de nuevos proyectos de madera masiva (WAUGH THISTLETON ARCHITECTS, 2009).

A partir de este momento se desarrollaron varias investigaciones alrededor del mundo para evaluar la factibilidad de construir estructuras de madera contralaminada, como las desarrolladas en Chile por González et al. (2015), del Departamento de Ingeniería en Obras Civiles de la Universidad de Santiago de Chile con el objetivo usar la madera contralaminada en edificios de mediana altura, y la que describe CORMA (2015), donde un grupo de investigadores de la Universidad del Bío, desarrollaron la primera vivienda de madera contralaminada en Latinoamérica con un diseño pasivo en la localidad chilena de San Pedro de la Paz.

Sin embargo una propuesta que resuelve mejor la problemática descrita en Zapopan es la desarrollada en Canadá por la Universidad de Prince George, British Columbia, y el despacho de arquitectura de Michael Green, quienes en conjunto terminaron en 2015 el edificio que alberga el Centro para el Diseño e Innovación de la Madera en la ciudad de Prince George. Este edificio tiene 8 niveles y 29.26 metros de altura, y una estructura mixta que tuvo como objetivo mostrar el potencial de la combinación de diferentes paneles de madera de ingeniería para lograr una estructura contemporánea. Se combinaron postes y vigas de madera laminada encolada, con losas y muros de madera contralaminada, además en los parteluces se empleó madera microlaminada en lugar de aluminio (Hooper, 2015) (Green & Karsh, 2013).

Llama la atención que un año después de la construcción de este edificio, en 2016, el despacho de Michael Green comenzó la construcción del edificio comercial y de oficinas Minneapolis T3, en el cual no se incluyeron todos los avances desarrollados para el Centro para el Diseño e Innovación de la Madera, sino por el contrario, se decidió emplear una estructura más sencilla a base de columnas y vigas de madera laminada encolada, con losas de madera laminada clavada. Esta obra consta de 7 niveles y 20,438 m<sup>2</sup>, lo que la convierte en el edificio de madera masiva más grande de los Estados Unidos en volumen (MGA, 2016).

El mismo año en Portland, Oregón, se construyó el edificio Albina Yard, el cual contiene comercio en planta baja y oficinas en los tres niveles superiores. La estructura consta de marcos de madera laminada y losas de madera contralaminada, las cuales fueron las primeras en ser fabricadas en los Estados Unidos (LEVER ARCHITECTURE, 2017). Este edificio es un referente importante para este trabajo porque se encuentra en un terreno entre medianeras muy parecido a los que componen las

manzanas de la ciudad de Zapopan, y su altura es prácticamente la máxima permitida en reglamento de construcción del Municipio de Zapopan (2014). En la Figura 1 se puede apreciar este edificio.



**Figura 1. Edificio Albina Yard (Elaboración Propia).**

También en Portland, Oregón, en 2018 se terminó la construcción del edificio Carbon 12, el cual es el primer edificio de vivienda con usos mixtos de madera masiva. Tiene 8 niveles y una estructura mixta, formada por un núcleo de marcos de acero contraventeados, rodeado de una segunda estructura de marcos de madera laminada encolada, y sus losas son de madera contralaminada (Carbon 12, 2018).

Existen otros dos proyectos de vivienda con usos mixtos que están planeados para terminarse en 2020. El primero es el edificio Framework en el distrito Pearl de Portland, Oregón, el cual tendrá 12 niveles con una estructura de vigas y columnas de madera laminada encolada, losas de madera contralaminada y un innovador sistema resiliente de paredes oscilantes para resistir fuerzas laterales, el cual contiene fusibles reemplazables de disipación de energía. Dentro del cual habrá comercio en planta baja, oficinas en los siguientes niveles, y sesenta unidades de vivienda social (LEVER ARCHITECTURE, 2017). El segundo es el proyecto de vivienda y usos mixtos HAUT en la ciudad de Ámsterdam, Holanda. Este edificio está diseñado por la firma Team V Architects y la empresa ARUP. La estructura de este proyecto consta de columnas y vigas de madera laminada encolada, con losas y muros de cortante de madera contralaminada. Una vez terminado tendrá una altura de 73 metros y se convertirá en el edificio más alto del mundo construido con madera masiva (HAUT, 2018).

Finalmente, Brandner (2013) y Horx-Strathern (2017) muestran que existe una tendencia a la alza del volumen de producción y ventas del sistema constructivo de madera masiva en el mundo desarrollado. Este crecimiento se debe a que este sistema constructivo se está posicionando como la opción más viable para edificar estructuras contemporáneas bajas en carbono, debido a su estética, versatilidad y la cualidad que tiene la madera de capturar CO<sub>2</sub> durante su crecimiento, además de mantenerlo almacenado durante su vida útil, lo cual puede resultar en edificios cuya fase de construcción sean casi de carbono cero. Este *momentum* que vive el sistema constructivo de madera masiva brinda la oportunidad perfecta para introducirlo a México, específicamente en Zapopan, donde se conjuntan las condiciones económicas, sociales, ambientales y reglamentarias necesarias para su desarrollo.

En una revisión más a detalle de esta normatividad encontramos que en el reglamento de construcción del Municipio de Zapopan (2014) no están especificados los esfuerzos permisibles para las maderas de coníferas. De acuerdo al mismo reglamento, las normas técnicas complementarias para el diseño de estructuras de madera son las estadounidenses, en la cual se clasifican los esfuerzos permisibles por especie de madera y calidad visual (AWC, 2017). No obstante, ninguna de las especies especificadas corresponde a las especies de maderas de coníferas que crecen en México, además de que a nuestro criterio, esta clasificación no nos parece la más sustentable porque el diseñador puede ser predispuesto a elegir las especies más resistentes, lo cual puede provocar

que se beneficie la reproducción de unas pocas especies en detrimento de la biodiversidad. Una clasificación que nos parece más adecuada es la de la norma europea EN 338 (2009), en la cual se presentan doce clases resistentes, independientemente de a que especie pertenecen. En esta clasificación, la madera de una misma especie puede pertenecer a distintas clases resistentes de acuerdo a su resistencia a la flexión y densidad.

Revisando la normatividad mexicana, encontramos que la única reglamentación donde se mencionan esfuerzos permisibles para maderas de coníferas son las Normas Técnicas Complementarias para Diseño y Construcción de Estructuras de Madera (NTCM) de la Ciudad de México, en este reglamento también hay una clasificación por clases resistentes, pero a diferencia de la norma EN 338 (2009), en esta solo existen tres clases resistentes, de las cuales ni siquiera la más alta presenta todos sus valores dentro de la clase resistente más baja de la norma europea. Más aún, para ninguna de estas tres clases resistentes se dan los valores de la densidad característica o aparente (NTCM, 2017), con lo cual no es posible determinar a cuál de estas clases resistentes pertenece una muestra de madera. Otro problema identificado es que de acuerdo con Esteban López, gerente de ventas de la CINSJP, ningún aserradero mexicano clasifica sus productos maderables en clases resistentes, sino más bien en calidades visuales, además de que para la madera de la CINSJP no se han realizado estudios de sus características resistentes (López, 2017, Comunicación personal).

Esta situación representa un problema crucial cuando alguien quiere construir una estructura de madera en México, ya que ante la incertidumbre de cuál es la resistencia de la madera disponible, el diseñador estructural está entrenado para elegir la clase menos resistente, lo que resulta en una estructura con espesores de secciones considerablemente grandes, las cuales al ser presupuestadas son más costosas que si se hicieran con acero o concreto reforzado, por lo cual podemos afirmar que el exceso de seguridad o la falta de investigación reflejada en las clases resistentes de las NTCM (2017) terminan por desincentivar la construcción con madera en México. Ante esta situación es indispensable realizar estudios sobre la madera que se pretende utilizar para obtener sus esfuerzos permisibles adecuadamente.

En base a la problemática y justificación expuesta en los párrafos anteriores, este trabajo parte de la hipótesis que el sistema constructivo de madera masiva tiene altas posibilidades de desarrollarse en Zapopan y competir comercialmente con los sistemas constructivos convencionales, si se puede validar que es posible construir en madera masiva un edificio de vivienda con usos mixtos de mediana altura fabricado con madera nacional legal y certificada, el cual cumpla con la normativa aplicable para el diseño por sismo, viento y resistencia al fuego, resultando en un costo similar al de una estructura convencional; y si se puede explorar la viabilidad de que el mercado potencial lo acepte y que la demanda creada por su uso pudiera propiciar un manejo forestal sustentable, beneficiando económicamente a las comunidades forestales certificadas.

De acuerdo con esto, el objetivo principal del trabajo fue avanzar en la maduración tecnológica de los paneles de madera contralaminada, madera laminada clavada y madera laminada encolada, fabricados con madera certificada mexicana, a partir de estudios realizados sobre la madera de la CINSJP, demostrando que un edificio de vivienda con usos mixtos de mediana construido en madera masiva, cumple teóricamente con la normativa aplicable para el diseño por sismo, viento y resistencia al fuego, resultando en un costo similar al de una estructura convencional. De forma secundaria se buscó evaluar positivamente que el mercado potencial lo acepte y que la demanda creada por su uso pudiera propiciar un manejo forestal sustentable, beneficiando económicamente a las comunidades forestales certificadas.

## **1. Metodología**

A continuación se explica la metodología empleada, en la cual se realizó un abordaje mixto que combina estrategias complementarias de aproximación a los objetos de investigación de este trabajo.

### 1.1 Viabilidad estructural y económica

Una primera parte consistió en una investigación cuantitativa con un enfoque descriptivo que busca demostrar la viabilidad estructural y económica de un edificio de madera masiva de vivienda con usos mixtos, construido con madera de la CINSJP, que cumpla con el reglamento de construcción de Zapopan.

#### 2.1.1 Obtención de clases resistentes clasificadas por densidad

Primero se procedió a numerar las tablas de la muestra de madera de la CINSJP, después se obtuvieron el volumen, y el peso de cada una de ellas para calcular su densidad aparente. También se verificó por medio de un higrómetro que el contenido de humedad de todas las tablas fuera menor al 12%. Por último los resultados se agruparon en dos clases resistentes, una baja y otra alta. En la Figura 2 se puede apreciar el proceso de clasificación por densidad.



Figura 2. Proceso de clasificación por densidad.

#### 2.1.2 Caracterización mecánica estructural

Posteriormente se llevaron a cabo una serie de ensayos de laboratorio para obtener las resistencias características a la flexión, tensión, compresión y cortante de acuerdo a la norma europea EN 408 (2004). En la Figura 3 se pueden ver las configuraciones de estos ensayos.



Figura 3. Configuración de ensayos de flexión, tensión, compresión y cortante de acuerdo a la norma EN 408 (2004).

#### 2.1.3 Obtención de esfuerzos permisibles

La información obtenida en los ensayos se procesó estadísticamente de acuerdo a la norma europea EN 384 (2004), para obtener los esfuerzos permisibles correspondientes las clases resistente baja y alta determinadas anteriormente.

#### 2.1.4 Validación de los esfuerzos permisibles

Primero se fabricaron en taller cuatro probetas de muros de madera contralaminada, dos columnas de madera laminada encolada, una viga de madera laminada encolada, una probeta de losa de madera contralaminada y una probeta de losa de madera laminada clavada. Se eligieron estos paneles de madera de ingeniería porque en la revisión de los antecedentes empíricos se observó que eran los paneles más usados. En las Figuras 4 a la 7 se muestra el proceso de fabricación de los elementos estructurales.



**Figura 4. Fabricación de muros de madera contralaminada.**





**Figura 5. Fabricación de losas de madera contralaminada.**



**Figura 6. Fabricación de losas de madera laminada clavada.**



**Figura 7. Fabricación de columnas y vigas de madera laminada encolada.**

Después, estos elementos estructurales se ensayaron en laboratorio para validar los esfuerzos permisibles de las dos clases resistentes, usando los métodos de cálculo disponibles en la normatividad estadounidense NDS (2015) para madera laminada encolada, y los manuales de diseño para madera contralaminada de Karacibely & Douglas (2013), y para madera laminada clavada de BSLC (2017). Todos los cálculos se realizaron sin aplicar factores de reducción de resistencia. En la Figura 8 se pueden observar las configuraciones de estos ensayos.



**Figura 8. Configuraciones de los ensayos de los elementos estructurales.**

### **2.1.5 Estimación de los costos directos de la estructura**

Con el aprendizaje del proceso de fabricación se cotizó el equipo necesario para producir de manera comercial a un nivel de taller los elementos estructurales de madera laminada encolada y madera laminada clavada, se calcularon los costos de operación del taller y se cotizaron los costos de los insumos necesarios, para posteriormente calcular cual sería el costo directo del metro cúbico colocado en obra de cada uno de estos. Se descartó incluir la fabricación de paneles de madera contralaminada debido a que se pudo identificar de acuerdo al trabajo de Rizo et al. (2017), que para poder fabricar estos paneles es necesario adquirir prensas y routers CNC de dimensiones más grandes que las fabricadas nacionalmente, lo cual aumenta el costo de las mismas de manera muy significativa, restándole viabilidad económica a la introducción del sistema constructivo de madera masiva en México.

### **2.1.6 Modelo de sistema**

Posteriormente, se diseñó un edificio de vivienda multifamiliar con una planta baja comercial, de acuerdo con los criterios para diseñar vivienda vertical sustentable publicados por Arana et al (2017), en un terreno tipo representativo de los disponibles en la ciudad de Zapopan, el cual presenta las características de ser un terreno alargado y entre medianeras.

Después se construyeron dos modelos de este proyecto arquitectónico dentro del software de elementos finitos RFEM de Dlubal, uno con marcos contraventeados de madera laminada encolada y losas de madera laminada clavada, para el cual se usaron los esfuerzos permisibles de las clases resistentes obtenidas en este trabajo. El segundo modelo se construyó con marcos contraventeados de acero A36 y losas de concreto reforzado. Es importante mencionar que estos modelos solo se realizaron por una mitad del edificio propuesto en el diseño arquitectónico, sin considerar las escaleras, debido a que son edificios iguales y solo se encuentran espejados.

Para diseñar el edificio de madera masiva se empleó la filosofía de Diseño por Esfuerzos Admisibles (ASD), debido a que es la única con la cual se puede calcular automáticamente la resistencia al fuego de una hora indicada en el IBC (2018) para este tipo de edificios. Para el diseño del edificio de acero se usó la filosofía de diseño de Cargas y Factores de Resistencia para el Diseño (LRFD), debido a que es la que resulta en estructuras más económicas y por lo tanto es la más usada en la práctica profesional.

Para cada una de estas filosofías de diseño existen casos de carga diferentes, los cuales se elaboraron de acuerdo al manual ASCE 7 (2010). Para construir estos casos de carga se introdujeron los pesos de las cargas muertas correspondientes a cada material utilizado en el proyecto, mientras que para los valores de las cargas vivas se usaron los especificados en el reglamento de construcción del Municipio de Zapopan (2014).

El diseño por fuego se consideró de acuerdo a las caras de los elementos que quedarían aparentes. Para las vigas solo se consideraron las caras laterales y la inferior, para las losas solo se consideró la capa inferior, y en las columnas si se consideraron las cuatro caras.

Para obtener las cargas de viento se utilizó el Manual de Diseño de Obras Civiles de la Comisión Federal de Electricidad (CFE, 2008). De igual manera se utilizó este manual para construir el espectro de diseño sísmico pero con la versión de CFE (1993), debido a que es la que proporciona mayor seguridad y no se necesitan datos del subsuelo para calcularlo, mientras que los coeficientes Q se obtuvieron del reglamento de construcción del Municipio de Zapopan (2014). Las cargas sísmicas se obtuvieron con el módulo DYNAM-Pro del software RFEM, para lo cual se calcularon los periodos de vibración natural de las estructuras y se obtuvieron las cargas sísmicas equivalentes en cada nudo del modelo, las cuales se usaron en los casos de carga correspondientes.

Finalmente, una vez optimizadas las estructuras se calcularon las volumetrías y pesos de cada una de ellas y se calcularon sus costos de construcción, sin incluir la cimentación en ninguna de ellas, para tener una primera aproximación comparativa del costo de un edificio de madera masiva en comparación con los sistemas constructivos convencionales. También se calculó cual es el potencial de captura de CO<sub>2</sub> de la estructura de madera masiva usando los datos del estudio de Ordóñez et al. (2001).

## **2.2 Perspectivas cualitativas y subjetivas en torno a la construcción con madera**

La segunda parte de la investigación consistió en explorar mediante el Paradigma Interpretativo-Construccionista cuales son las perspectivas cualitativas y subjetivas en torno a la construcción con madera, como son las ideas preconcebidas, opiniones, inquietudes y miedos, que se tienen desde la perspectiva de los clientes potenciales y los productores forestales certificados. Para obtener la información necesaria se diseñaron dos instrumentos.

### **2.2.1 Censo de productores certificados por FSC**

El primero fue un censo de los 73 productores forestales certificados por FSC en México. El procedimiento consistió en enviar por correo electrónico una invitación para responder un cuestionario en la plataforma Google Forms, confirmando vía telefónica su recepción. En el caso de la CINSJP se aplicó el cuestionario personalmente a manera de pilotaje.

### **2.2.2 Encuesta sobre la construcción con madera**

El segundo instrumento fue una encuesta no representativa estadísticamente sobre las ideas preconcebidas de la construcción con madera y las percepciones iniciales sobre el sistema constructivo de madera masiva. Para la cual se aplicaron nueve cuestionarios a una muestra de compradores potenciales de unidades de vivienda fabricadas con madera masiva en Zapopan.

Para argumentar la seguridad de las estructuras de madera masiva se les explicó a los entrevistados que de acuerdo con la normatividad AWC (2015), la madera tiene la característica de quemarse a una tasa predecible y de manera uniforme, por lo que en el diseño estructural las caras expuestas al fuego de cualquier elemento estructural se sobredimensionan para tener el espesor suficiente que soportó el tiempo de incendio para el cual se está diseñando, además de que en la práctica se instalarían rociadores automáticos, con el objetivo de extinguir el fuego inmediatamente.

Sobre la durabilidad de la madera se les explicó que los factores que afectan la durabilidad de la madera son “la humedad, la luz solar, calor / frío, la abrasión causada por el viento o agentes biológicos, que pueden actuar solos o en combinación” (Turbi, 2015, p.7). Para lo cual un edificio de madera masiva se diseña con un sistema de fachadas que cubra la estructura de madera como una piel, siendo esta la que está en contacto directo con los elementos que deterioran la en lugar de la estructura, de igual manera se les mostraron algunas fotografías de estructuras de madera que tienen muchos años de haberse construido y siguen en uso gracias a que se diseñaron con estos principios.

### 3. Resultados

A continuación se describen los resultados obtenidos en cada parte de la investigación.

#### 3.1 Viabilidad estructural y económica

Los resultados de la primera parte de la investigación son los siguientes:

##### 3.1.1 Obtención de clases resistentes clasificadas por densidad

La densidad promedio de la muestra de madera de la CINSJP fue de 567.87 kg/m<sup>3</sup>, 49% de estos elementos fueron ubicados en la clase baja y 51% en la clase alta. En la Tabla 1 se pueden apreciar los valores resultantes de la clasificación por densidad en las clases resistentes baja y alta.

Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	Clase Baja	Clase Alta
Mínima	421.33	567.87
Máxima	567.86	844.42

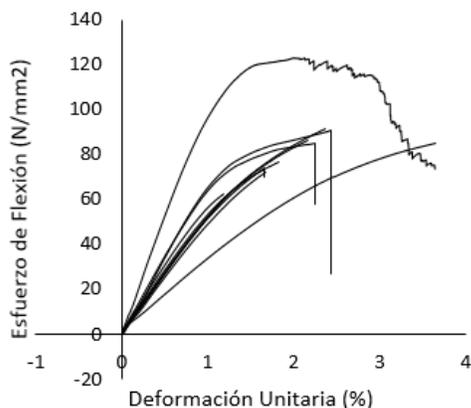
Tabla 1. Clasificación por densidad en clases resistentes baja y alta.

##### 3.1.2 Caracterización mecánica estructural

Los resultados de los ensayos a flexión y el módulo de elasticidad (MOE) muestran la existencia de una relación entre la densidad de la probeta y la resistencia a la flexión. En la Tabla 2 y el Gráfico 1 se puede observar como el menor valor de resistencia a la flexión pertenece a la segunda probeta menos densa, y el mayor valor a la más densa, en la cual no se produjo una falla frágil y por el contrario se observó la capacidad de seguir manteniendo la carga.

Ensayo	Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	C.H. %	MOE (N/mm <sup>2</sup> )	Resistencia a Flexión (N/mm <sup>2</sup> )
5	463.07	8.9	13863.83	86.45
3	471.29	6.6	11769.04	62.90
10	478.50	6.5	14693.09	94.62
7	512.10	7.1	11262.70	78.52
1	537.73	9.5	11138.33	84.28
2	589.24	6.2	10163.05	72.01
8	614.82	7.8	11007.01	88.94
6	617.24	7.4	10604.04	75.65
4	629.80	8.4	10817.41	92.51
9	677.07	8.4	22261.20	127.10

Tabla 2. Resultados de los ensayos a flexión y MOE.

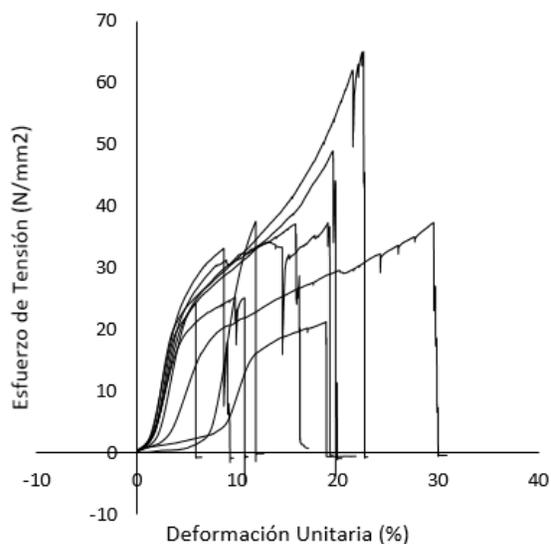


**Gráfico 1. Esfuerzo – Deformación, de los ensayos a flexión.**

La relación entre densidad y resistencia fue notoria también en los ensayos tensión, tal como se puede ver en la Tabla 3. Además en el Gráfico 2 podemos ver como la deformación por tensión es significativamente mayor a la observada en los demás ensayos. En este caso se observaron probetas que llegaron a la falla frágil y otras que mantuvieron la capacidad de carga, sin embargo no se aprecia una relación clara de este fenómeno con la densidad.

Ensayo	Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	C.H. %	Resistencia a la Tensión (N/mm <sup>2</sup> )
6	464.22	8.0	25.16
9	481.45	8.5	21.20
1	510.16	8.2	37.19
3	526.06	8.4	24.22
5	541.07	8.0	33.18
8	574.79	8.4	37.29
2	603.94	7.2	36.96
10	623.08	7.0	37.59
4	656.36	7.8	48.90
7	674.02	7.7	65.06

**Tabla 3. Resultados de los ensayos a tensión.**

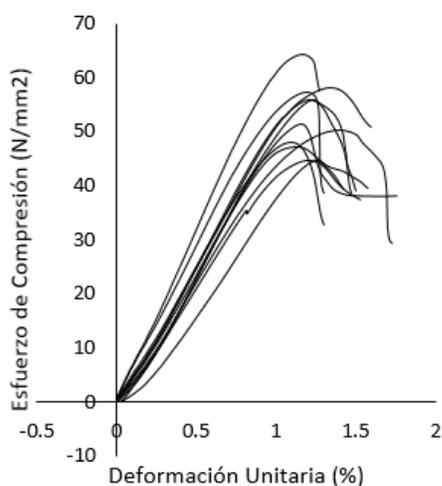


**Gráfico 2. Esfuerzo – Deformación, de los ensayos a tensión.**

En los ensayos a compresión también se observa la misma relación entre la densidad y la característica resistente analizada, con un comportamiento muy similar entre todas las probetas. En la Tabla 4 se pueden apreciar los resultados de la resistencia a la compresión, y en el Grafico 3 se puede apreciar su comportamiento.

Ensayo	Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	C.H. %	Resistencia a la compresión (N/mm <sup>2</sup> )
2	462.56	7.5	44.60
3	470.13	6.7	44.73
1	477.69	7.6	51.42
7	481.56	8.1	47.04
10	525.42	6.4	47.97
5	540.55	7.2	55.86
9	551.83	6.9	57.23
4	586.27	7.1	58.18
6	602.79	6.1	55.90
11	621.17	6.3	64.21
8	635.54	7	50.19

**Tabla 4. Resultados de los ensayos a compresión.**

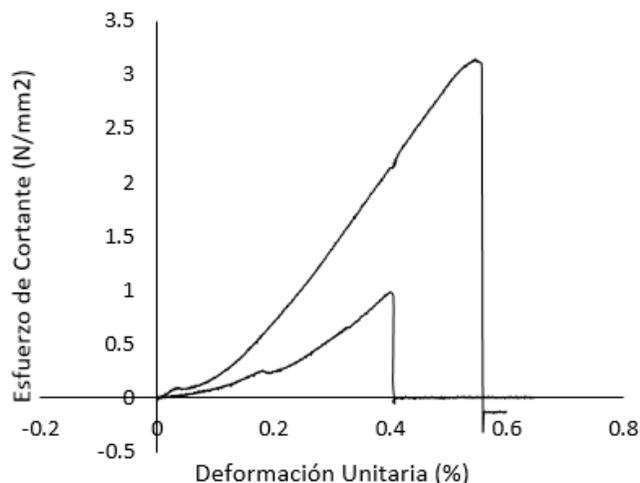


**Gráfico 3. Esfuerzo – Deformación, de los ensayos a compresión.**

Los ensayos de cortante no se pudieron realizar exitosamente debido a que en ambos casos se produjo la falla de la interface entre la probeta y la placa de acero requerida por la norma EN 408 (2004). En ambos casos se usó un pegamento epóxico distinto, el segundo ensayo resistió más que el primero, pero la falla fue la misma. Se decidió no realizar más intentos ya que la norma EN 384 (2004) prevé un método de cálculo para obtener los esfuerzos permisibles de cortante, a partir de los ensayos de resistencia a la flexión, los cuales si fueron exitosos. En la Tabla 5 se pueden apreciar los resultados y el comportamiento se puede ver en el Gráfico 4, de igual manera en la Figura 9 se puede apreciar los modos de falla de los ensayos de flexión, tensión, compresión y cortante. En este último se aprecia como fue el pegamento el que falló primero.

Ensayo	Resistencia al cortante (N/mm <sup>2</sup> )
1	0.99
2	3.15

**Tabla 5. Resultados de los ensayos a cortante.**



**Gráfico 4. Esfuerzo – Deformación, de los ensayos de cortante.**



**Figura 9. Modos de falla de los ensayos de flexión, tensión, compresión y cortante.**

### 3.1.3 Obtención de esfuerzos permisibles

En la Tabla 6 se pueden apreciar los esfuerzos permisibles asociados a cada característica mecánica estructural para las clases resistentes baja y alta de la muestra de madera de Pinus spp. de la CINSJP, obtenidos a partir del procesamiento estadístico de los resultados anteriores aplicando la norma europea EN 384 (2004).

Propiedades	Clase Resistente	
	Clase Baja	Clase Alta
Resistencia (característica) en N/mm <sup>2</sup>		
Flexión $f_m, k$	36.72	40.45
Tracción paralela $f_t, 0, k$	12.21	20.61

Tracción perpendicular. Ft,90,k	0.60	0.60
Compresión paralela fc,0,k	28.43	32.38
Compresión perpendicular fc,90,k	3.24	4.11
Cortante fv,k	3.57	3.80
<i>Rigidez, en N/mm<sup>2</sup></i>		
Módulo de elasticidad paralelo medio E0,medio	12213.07	12751.91
Módulo de elasticidad paralelo 5°-percentil E0,k	8182.75	8543.78
Módulo de elasticidad perpendicular medio E90,medio	407.10	425.06
Módulo transversal medio Gmedio	763.32	796.99
<i>Densidad, en kg/m<sup>3</sup></i>		
Densidad característica pk	462.77	587.22
Densidad media pmedio	510.58	636.31

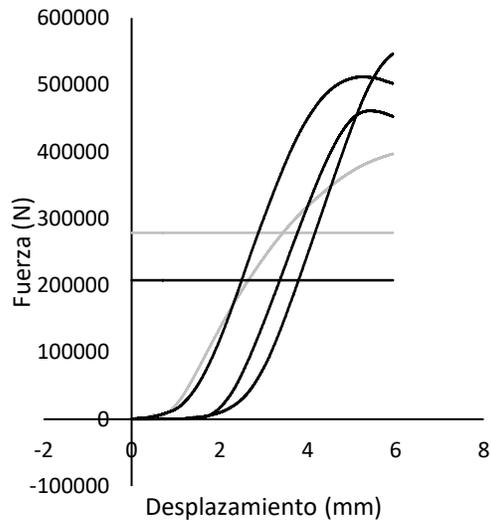
**Tabla 6. Esfuerzos permisibles para la madera de Pinus spp. proveniente de la CINSJP.**

### 3.1.4 Validación de esfuerzos permisibles

Los primeros ensayos de compresión para validar los esfuerzos permisibles se realizaron a las cuatro probetas de muros de madera contralaminada. La aplicación de la carga de los dos primeros ensayos se llevó a cabo con un perfil hueco metálico cuadrado, el cual se deformó al no resistir la carga aplicada. Además, el primer ensayo se realizó con la probeta en contacto directo con la base de la prensa universal, la cual tiene unos huecos circulares, por lo que la lectura del ensayo no fue correcta, ya que se deformó la base de la probeta. A partir del segundo ensayo se colocó una placa en la base de la prensa universal para evitar esa deformación, sin embargo, al aplicarse más carga en esta segunda prueba, el perfil hueco se deformó aún más. Para los ensayos tres y cuatro se colocaron dos placas metálicas, una para transmitir la carga y otra en la base de la prensa. En la Tabla 7 y el Gráfico 5 se muestran los resultados y el comportamiento de las probetas. En este gráfico y en los siguientes, las líneas horizontales representan la capacidad de carga calculada y las verticales el comportamiento de las probetas.

Ensayo	Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	Capacidad de Carga Calculada (N)	Esfuerzo de Compresión Máximo (N)
1	473.74	278,680.34	396,781.28
2	502.91	207,756.55	461,046.90
3	504.59	207,756.55	546,499.99
4	483.15	207,756.55	511,937.53

**Tabla 7. Resultados de los ensayos a compresión de muros de madera contralaminada.**

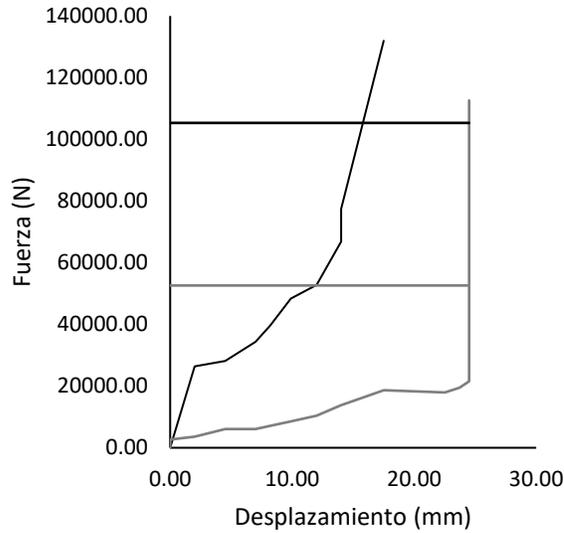


**Gráfico 5. Fuerza desplazamiento muros de madera contralaminada.**

Después se realizaron los ensayos de compresión a dos columnas de madera laminada encolada. En el primero se detectó que el marco de reacción se desplazó ligeramente al principio de la prueba debido a que no estaba bien fijado a la plataforma del laboratorio. Este ensayo se suspendió al llegar a los 112,600.30 N debido a que la placa ubicada contra el marco de reacción se empezó a inclinar, provocando un aplastamiento en la esquina de un extremo del elemento, el cual se puede apreciar en la Figura 10. El segundo ensayo se detuvo cuando se alcanzó la presión máxima de seguridad que marca el manómetro de la bomba de presión. En ambos casos la capacidad de carga fue excedida y no se llegó a la falla. Al retirar la fuerza aplicada ambas columnas regresaron a su forma original, y no se presentó ninguna falla en las laminaciones ni en las uniones finger joint. En la Tabla 8 se pueden ver los resultados obtenidos, y en el Gráfico 6 se puede ver el comportamiento de cada ensayo.

Columna	Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	Capacidad de Carga Calculada (N)	Esfuerzo de Compresión Máximo (N)
1	603.26	52614.84	112600.30
2	658.48	105321.60	131953.48

**Tabla 8. Resultados del ensayo a compresión de las columnas.**



**Gráfico 6. Fuerza desplazamiento de las columnas de madera laminada.**

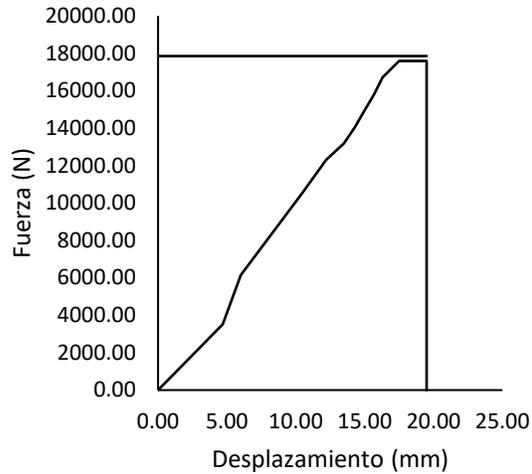


**Figura 10. Aplastamiento de la columna 1.**

El siguiente ensayo fue de una viga de madera laminada encolada sometida a flexión. El modelo de cálculo indicó una resistencia a la flexión de 17,856.21 N, y al cortante de 29,154.55 N. La falla se presentó a los 17,593.80 N, es decir, al 98.53% del valor de resistencia a la flexión. Como se puede apreciar en la Figura 11, la falla de la viga se dio en el pegamento de las uniones finger joint, mientras que en las laminaciones la falla se dio en las fibras y no en el pegamento. En el Gráfico 7 se puede apreciar el desplazamiento sin aumento de carga correspondiente al desprendimiento de la unión finger joint.



**Figura 11. Modo de falla de la viga de madera laminada encolada.**



**Gráfico 7. Fuerza desplazamiento de la viga de madera laminada.**

Por último se realizaron los ensayos a flexión de las losas de madera contralaminada y madera laminada clavada. En la Tabla 9 se muestran los valores de resistencia calculados y la máxima carga aplicada. En ambos casos el modelo de cálculo indica una falla por cortante antes que por flexión. La losa de madera contralaminada falló con una fuerza 34.40% arriba de la resistencia calculada al cortante, mientras que la losa de madera laminada clavada lo hizo con un 5.38% superior, sin embargo esta última resistió un 66.61% más fuerza que la primera.

Losa	Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	Resistencia Calculada al Cortante (N)	Resistencia Calculada a la flexión (N)	Máxima Carga Aplicada (N)
CLT	563.62	60753.90	96603.95	81653.10
NLT	588.07	129100.70	143578.00	136050.00

**Tabla 9. Resultados del ensayo a flexión de las losas.**

En la Figura 12 se puede apreciar como en la losa de madera contralaminada, la falla fue por cortante en las capas transversales mientras las longitudinales no presentaron ninguna falla, además se observó un desprendimiento del pegamento entre estas capas. En la Figura 13 se puede ver como el modo de falla de la losa de madera laminada clavada fue por cortante en sus laminaciones.

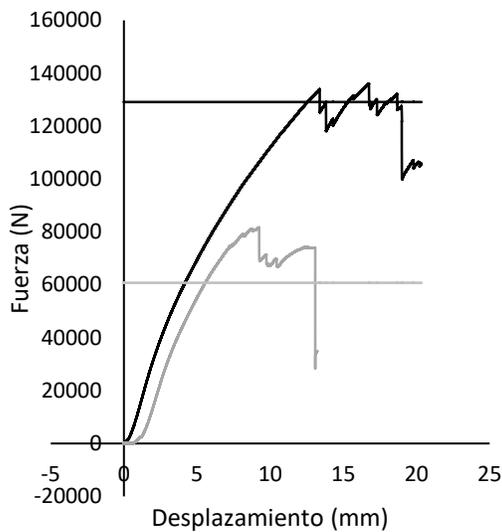


**Figura 12. Modo de falla de la losa de madera contralaminada.**



**Figura 13. Modo de falla de la losa de madera laminada clavada.**

Para ambos tipos de losa se presentó una recuperación de la capacidad de carga, siendo más evidente en la losa de madera laminada clavada. Es importante mencionar que ambos ensayos la pieza metálica que se usó para transferir la carga central se hundió por compresión dentro de los especímenes, por lo que las medidas del desplazamiento son superiores a la deflexión real. En el Gráfico 8 se puede apreciar este fenómeno.



**Gráfico 8. Fuerza desplazamiento de una losa de madera contralaminada y otra de madera laminada clavada.**

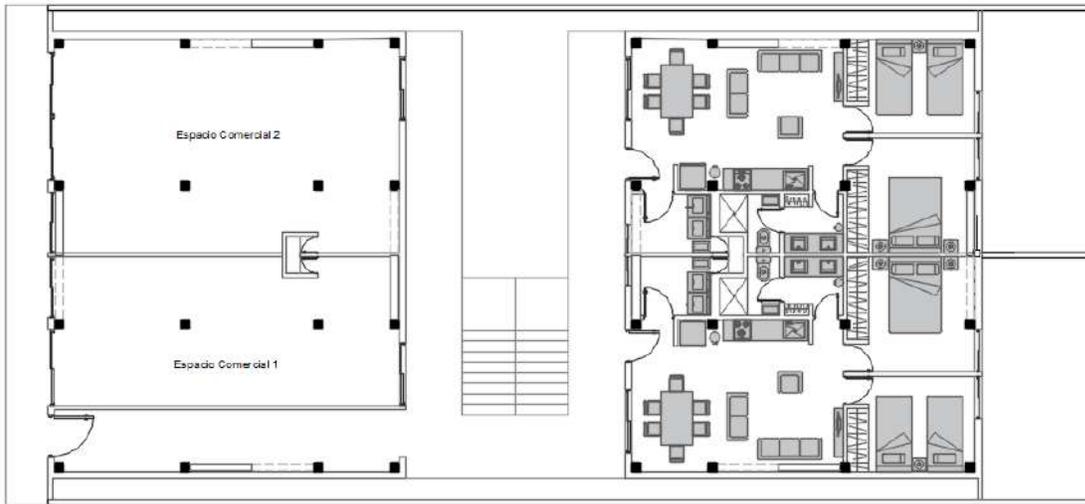
### 3.1.5 Estimación de los costos directos de la estructura

La maquinaria necesaria para montar un taller de producción se cotizó en \$807,930.80 m.n. Se consideraron 306 días laborables por año, cada uno de los cuales tendría un costo diario de operación de \$4,993.18 m.n., durante los cuales se podrían producir 3.96 m<sup>3</sup> de madera laminada clavada, o 1.88 m<sup>3</sup> de madera laminada encolada. Tomando en cuenta los costos de los insumos y mano de obra para montaje, se estimó que el costo directo en obra sería de \$10,250.60 m.n. por m<sup>3</sup> de madera laminada clavada y \$13,998.74 m.n. por m<sup>3</sup> de madera laminada encolada.

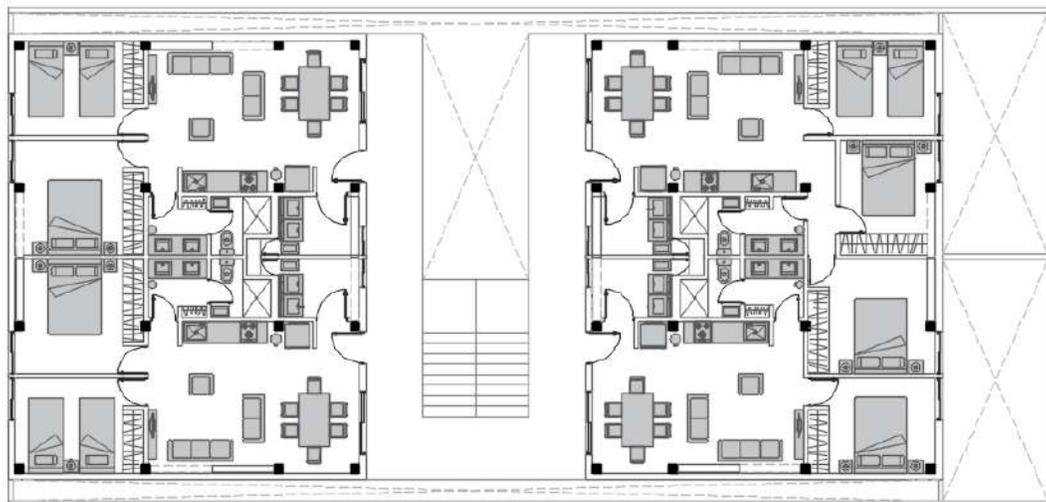
### 3.1.6 Modelo de sistema

El proyecto arquitectónico propuesto brinda la posibilidad de contar con tres tipologías de departamentos, de una, dos y tres recámaras. Así como un par de locales comerciales en planta baja en el edificio que da a la calle. Los departamentos de una recámara son de 38.96 m<sup>2</sup>, los de dos recámaras son de 64.71 m<sup>2</sup> y los de tres recámaras son de 90.46 m<sup>2</sup>. Cada tipología cuenta con un espacio abierto común que contiene la sala, el comedor y la cocina. También cuentan con baño

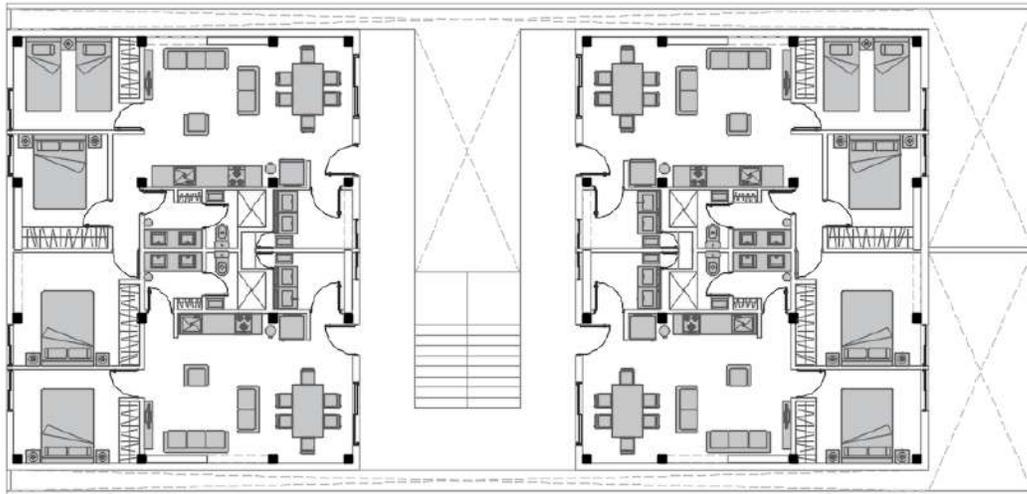
propio y cuarto de servicio. Las instalaciones hidráulicas y sanitarias se concentran al centro del edificio compartiendo el mismo ducto de instalaciones. En la Figura 14 se pueden ver las plantas del edificio.



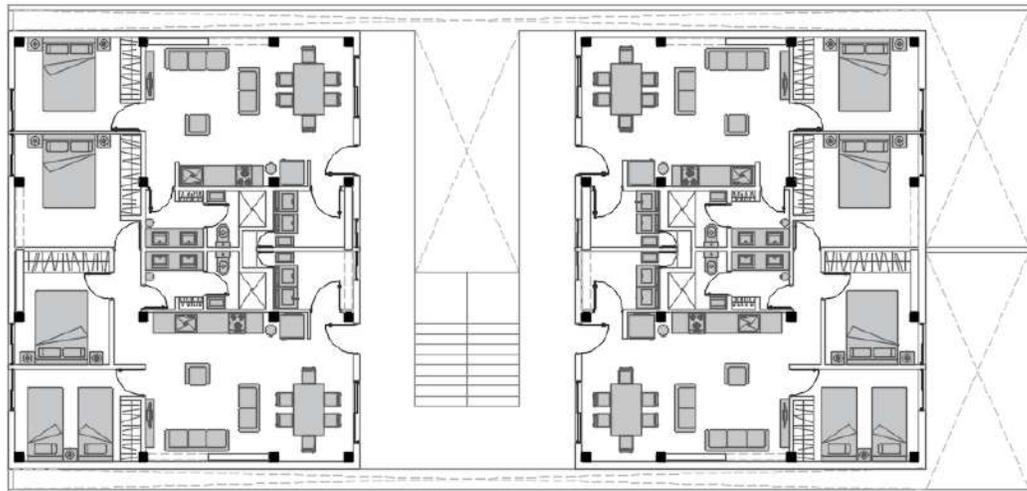
Planta Baja



Primer Piso



Segundo Piso



Tercer Piso



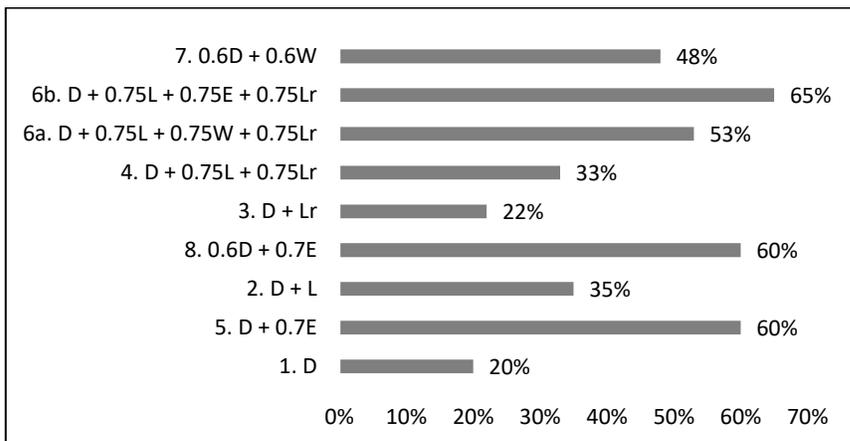
Figura 14. Plantas tipo del proyecto arquitectónico.

En la Tabla 10 se puede observar como las secciones del edificio de acero resultaron más pequeñas que las de madera.

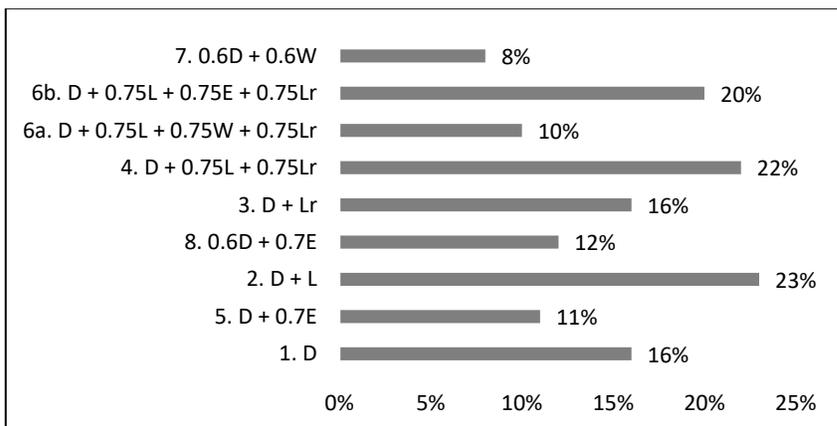
Sección	Madera Masiva		Acero A36
1	250x256	Clase alta	OR 203x6.4
2	175x192	Clase baja	IR 102x19.4
3	175x192	Clase baja	IR 152x24.0
4	200x192	Clase alta	IR 152x18.0
5	224x258	Clase alta	IR 152x24.0
6	150x160	Clase baja	IR 152x13.6
7	250x256	Clase baja	OR 203x4.8

Tabla 10. Comparación de secciones estructurales de madera y acero.

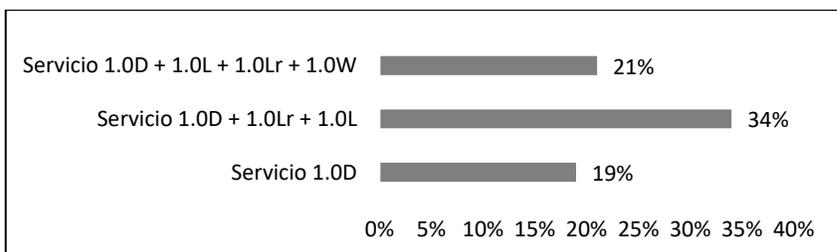
Sin embargo el peso total de la estructura de acero fue de 178.49 ton, mientras que el peso de la estructura de madera masiva fue de 60.22 ton. Para el edificio de madera masiva se necesitan 31.17 m<sup>3</sup> de madera laminada encolada, y 76.42 m<sup>3</sup> de madera laminada clavada, los cuales de acuerdo al trabajo de Ordóñez et al. (2001), y a los porcentajes de reducción de madera rolliza hasta madera masiva, almacenarían en conjunto 214.88 ton de CO<sub>2</sub>. El costo directo estimado para la estructura de acero fue de \$ 1,076,955.82 m.n., y para la estructura de madera masiva fue de \$1,491,967.31 m.n. En los Gráficos 9 al 13 se pueden observar los porcentajes de esfuerzo para cada caso de carga de ambas estructuras.



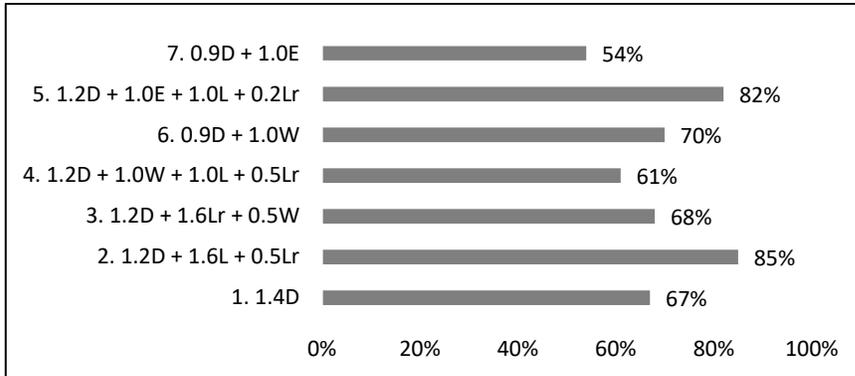
**Gráfico 9. Resultados para la resistencia al fuego de la estructura de madera masiva.**



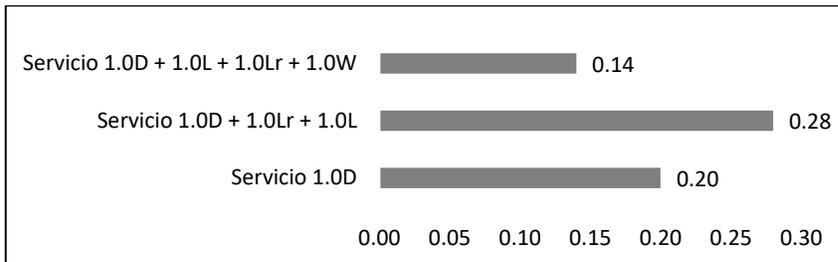
**Gráfico 10. Resultados para el estado límite último de la estructura de madera masiva.**



**Gráfico 11. Resultados para el estado límite de servicio de la estructura de madera masiva.**

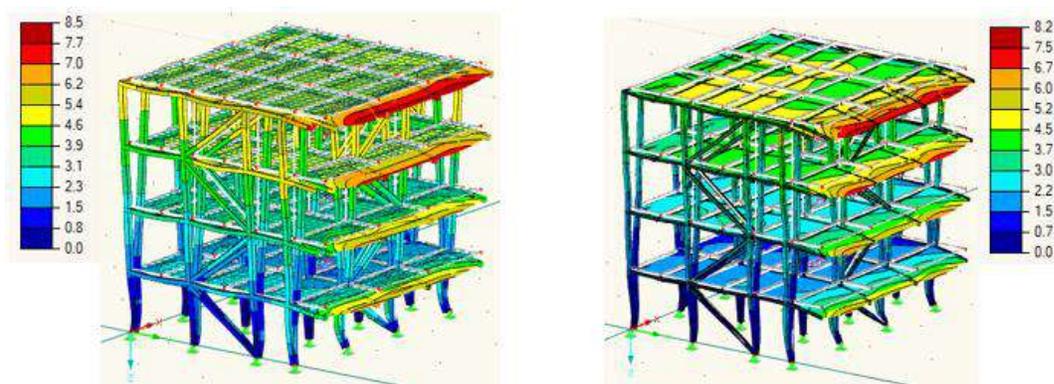


**Gráfico 12. Resultados para el estado límite último de la estructura de acero.**



**Gráfico 13. Resultados para el estado límite de servicio de la estructura de acero.**

Como se puede apreciar en los gráficos anteriores, la estructura de madera masiva presenta los porcentajes de esfuerzo más altos en los casos de carga de resistencia al fuego y no en el estado límite último como el acero. El edificio de acero presentó los esfuerzos más demandantes para el caso de carga LRFD número 2, el cual incluye solamente peso propio y cargas vivas, mientras que los esfuerzos más demandantes de la estructura de madera de masiva estuvieron en el caso de carga ASD número 6b, el cual incluye el peso propio, las cargas vivas y las cargas sísmicas. En la Figura 15 se muestran los resultados de desplazamientos para el caso de carga que involucra las fuerzas sísmicas en cada estructura, a la izquierda el caso 6b de la resistencia al fuego de la estructura de madera masiva y a la derecha el caso 5 del estado límite último de la estructura de acero.



**Figura 15. Resultados de desplazamientos para el caso de carga que involucra las fuerzas sísmicas.**

### 3.2 Perspectivas cualitativas y subjetivas en torno a la construcción con madera

Los resultados de la segunda parte de la investigación son los siguientes:

### 3.2.1 Censo de productores certificados por FSC

Solo se tuvo respuesta de 6 de los 73 predios certificados por FSC, de los cuales se pudo conocer que tienen en promedio la capacidad de aumentar su producción en un 70%, pero no hay las suficientes ventas para hacerlo, debido a que el mercado no demanda productos forestales certificados, lo cual sumado al costo de la certificación está provocando que la mayoría de estos productores estén considerando no renovar la certificación, al considerar que no es económicamente redituable, con excepción de la CINSJP. También se pudo constatar que no cuentan con un sistema de clasificación estructural para su madera y que desconocen técnicamente como hacerlo.

### 3.2.2 Encuesta sobre la construcción con madera

En los cuestionarios realizados se detectó que los principales temores de las personas encuestadas hacia la construcción con madera son los incendios, la durabilidad y el precio elevado, aunque se pudo conocer que la mayoría de los encuestados perciben la construcción con madera como un material ecológico, de alta calidad y resistente a los sismos. Una vez que se les explico el funcionamiento del sistema constructivo de madera masiva, la percepción del riesgo en general en una escala del 1 al 10, fue de 2.75, y la disposición a adquirir o vivir en una vivienda de madera masiva fue de 7.5, aunque la mayoría preferiría una vivienda unifamiliar en lugar de una multifamiliar.

## 4. Discusión y Conclusiones

Aun cuando se obtuvieron resultados positivos en la encuesta y el censo para conocer la percepciones cualitativas y subjetivas de los usuarios potenciales y de los aserraderos certificados, es necesario mencionar que no se alcanzaron a hacer las suficientes encuestas para contar con muestras de validez estadística, por lo que sería conveniente diseñar y planear mejores métodos para recabar esta información en futuros estudios. Ante la preferencia de las viviendas unifamiliares por encima de las multifamiliares, cobra importancia realizar investigaciones que ayuden a determinar de manera más específica cuales son los factores que influyen en esta preferencia, y como se podría influir en las personas para que la adopción del modelo de ciudad compacta se de forma positiva.

De igual manera, en este estudio se tuvo la limitante de no contar con extensómetros que nos ayudaran a medir el desplazamiento de las probetas durante los ensayos con la mayor precisión posible, lo que probablemente causó que los módulo de elasticidad obtenidos estén más bajos en relación con la resistencia a la flexión, a diferencia de la relación apreciada en la tabla de clases resistente de la norma EN 338 (2009). Debido a que el módulo de elasticidad es una de las propiedades que más influyen en el comportamiento estructural de la madera es recomendable que están pruebas se realicen con la mayor precisión posible para obtener los resultados más exactos.

Tampoco se contó con los recursos suficientes para realizar el número de ensayos mínimos que requiere la norma EN 384 (2004) para la obtención de los esfuerzos permisibles, por lo para futuras investigaciones es necesario considerar los recursos suficientes para que los resultados tengan una mayor validez estadística.

Los esfuerzos permisibles obtenidos para la muestra de madera de Pinus spp. nos indican que por lo menos la madera certificada de la CINSJP, presenta las características estructurales adecuadas para la fabricación de elementos estructurales de madera masiva. Paradójicamente vemos que las NTCM (2017), las cuales son la única norma mexicana que presenta valores de diseño para maderas de coníferas, presentan valores de diseño muy por debajo de los obtenidos en este trabajo.

Mediante los ensayos de elementos estructurales de madera masiva se pudo validar que aún sin aplicar factores de reducción, las capacidades de carga de los muros, columnas y losas son superiores a las calculadas con los esfuerzos permisibles. Solo en la viga de madera laminada se

observó que las uniones finger joint sometidas a flexión pueden fallar antes del máximo esfuerzo de flexión si estas no tienen el largo adecuado, cual de acuerdo a Robles & Echenique (1983), debe ser de 50 mm, sin embargo, debido a la falta de presupuesto solo se pudo conseguir una fresa de finger joint con un largo de 18 mm, lo que seguramente causó la falla en estas uniones. En el caso de las losas de madera laminada clavada y madera contralaminada, se pudo observar que su modo de falla les permite mantener su capacidad de carga después de varias fallas parciales, lo cual es un indicativo de su confiabilidad estructural, si se cumple con los requerimientos mínimos de fabricación.

Con estos resultados fue posible modelar el sistema de la estructura de un edificio de madera masiva, demostrando que por lo menos con la madera certificada de la CINSJP, se pueden construir edificios de madera masiva, cumpliendo con el diseño por sismo, viento y resistencia al fuego exigidos por la normatividad aplicable.

A pesar de que el costo de la estructura de acero es un 27.82% más económica que la de madera, se puede inferir que el edificio de madera tendría algunos ahorros en su construcción en comparación con el de acero, haciendo que los costos finales no difieran tanto. Por una parte se tendría un ahorro en la cimentación ya que se cuenta con un diferencial de 118.27 toneladas de peso. Además, el costo de los acabados de las columnas, vigas y losas ya está incluido en el costo de la estructura de madera, porque estos elementos serían aparentes. La diferencia de costos entre ambas estructuras es de \$728.85 m.n. por m<sup>2</sup>. Este monto es probable que se acerque al costo que representaría la cimentación más grande del edificio de acero, y los recubrimientos con tableros de yeso de las columnas de acero y los plafones de las losas de concreto, pero con dos ventajas principales, la primera es su calidez visual en acabados, y la segunda su potencial de captura de carbono de 214.88 toneladas de CO<sub>2</sub>. Este número a su vez se convierte en una meta, ya que si se logrará construir el resto del edificio con materiales que en suma no superen esta barrera, y que además el edificio fuera capaz de generar su propia energía mediante paneles solares, estaríamos ante un edificio de carbono cero, algo imposible de lograr con acero y concreto reforzado.

También se pudo observar que existe una tendencia a la disposición de vivir en una vivienda de madera masiva una vez que se les explican a los posibles compradores de una vivienda el funcionamiento y las ventajas que tiene la construcción con madera. De igual manera se constató con los representantes de algunos aserraderos certificados que existe el potencial de incrementar la producción de madera sustentable, pero que no hay el suficiente mercado para hacerlo, por lo que es posible que el desarrollo de este sistema constructivo pueda impactar positivamente en las comunidades que manejan los bosques certificados en México.

Con los resultados de esta investigación y la revisión del estado del arte, resulta evidente que el sistema constructivo de madera masiva se presenta como la solución más viable para conseguir edificios bajos en carbono que provean la vivienda vertical y usos mixtos que se requieren para densificar las ciudades y mejorar la calidad de vida de la creciente población urbana. Vemos como la adopción de este sistema constructivo por parte de Europa y Norteamérica se va dando de forma casi natural gracias a la gran tradición que tienen en construcción con madera.

En México por el contrario, a pesar de contar con grandes recursos forestales, se identificó que no se ha construido casi ningún edificio de madera, debido a la desvinculación entre la academia, la industria de la construcción, los aserraderos certificados y los responsables de la elaboración de los reglamentos municipales de construcción. Esta desvinculación se deriva en la nula producción de información técnica sobre los esfuerzos permisibles de la madera nacional certificada, y en la ausencia de preparación en estructuras de madera por parte de las universidades hacia los profesionales de la industria de la construcción mexicana. En este contexto es fácil que se generen creencias equivocadas del público en general, el cual percibe a la madera como un material débil, fácil de incendiarse, poco durable, de origen no siempre legal y cuyo uso genera impactos ecológicos negativos.

Al momento ningún aserradero certificado del país ha publicado los esfuerzos permisibles de sus productos, y tampoco ofrecen estos con alguna clasificación estructural. Esta situación brinda la oportunidad de generar desde la academia un Estándar Nacional de Construcción con Madera Mexicana Certificada, vinculando a los aserraderos certificados, y la industria de la construcción para elaborar, para obtener los esfuerzos permisibles para los productos de cada aserradero nacional certificado. Este trabajo debe incluir también un análisis específico del factor Q para las estructuras de madera masiva, ya que es evidente que cuando se definió que este valor fuera de 1.5 se estaba pensando en estructuras de madera maciza, la cual contiene nudos e imperfecciones propias de la naturaleza de material, responsables de presentar modos de falla catastróficos. Sin embargo estas imperfecciones son prácticamente eliminadas en la fabricación de los paneles de madera masiva, provocando que puedan superar las capacidades de carga calculadas como se observó en los ensayos de los elementos estructurales. Un trabajo científico de este alcance y calidad daría la certeza necesaria para que sea adoptado como las normas técnicas complementarias para construcción con madera por cada municipio del país, promocionando el uso de la madera nacional certificada y resultando en estructuras más económicas comparadas con el uso de la normativa actual.

Como otras investigaciones futuras se propone el análisis de los modos de falla de los elementos estructurales de madera masiva, específicamente estudiar la posibilidad de provocar en cada tipo de elemento estructural el mismo modo de falla que el observado en las losas de madera laminada clavada y madera contralaminada, ya que esto aumentaría la confiabilidad estructural de este sistema constructivo.

Otra investigación necesaria es el diseño y desarrollo de maquinaria automatizada para fabricar los distintos elementos estructurales que conforman este sistema constructivo. Este tipo de maquinaria se produce en varios países de Europa y en Estados Unidos, pero a precios muy elevados, por lo que una investigación en este sentido es un área de oportunidad. De la misma manera el desarrollo de conexiones metálicas y dispositivos que absorban las fuerzas laterales es otra área con gran potencial de investigación, la cual se está desarrollando en varias universidades y empresas privadas de Estados Unidos y Europa.

## 5. Bibliografía

1. AENOR. (2004). UNE-EN 408. Estructuras de madera, Madera aserrada y madera laminada encolada para uso estructural, Determinación de algunas propiedades físicas y mecánicas. Madrid, España: AENOR.
2. Agencia Europea del Medio Ambiente (2006). Urban sprawl in Europe. The ignored challenge. Copenaghe: EEA.
3. Arana, R., Briceño, I., Hernández, C., Uribe, S., Vargas, R. & Yoe, J., (2017). Propuesta de Tipología de Vivienda Sustentable en Guadalajara, Morelos + Aguazul. ITESO.
4. Artunduaga, T. H. S., & Ríos, J. F. R. (2017). Ciudad compacta vs. ciudad difusa. Ecos antiguos y recientes para las políticas de planeación territorial y espacial. CUADERNO URBANO. Espacio, cultura, sociedad, 22(22), 29–52.
5. ASCE. (2010). ASCE/SEI 7-10 Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures. Reston, Virginia: ASCE.
6. AWC. (2015). NDS National Design Specification for Wood Construction 2015 Edition. Marzo 6, 2017, de American Wood Council Sitio web: <http://www.awc.org/codes-standards/publications/nds-2015>
7. AWC. (2017). NDS Supplement, Design Values for Wood Construction. Diciembre 14, 2017, de American Wood Council Sitio web: <http://www.awc.org/codes-standards/publications/nds-2018>
8. Banco Mundial. (2018). Población urbana (% del total). Recuperado el 15 de mayo de 2018, a partir de <https://datos.bancomundial.org/indicador/sp.urb.totl.in.zs>
9. Barraza, L. (2003). La formación de conceptos ambientales: el papel de los padres en la Comunidad Indígena de San Juan Nuevo Parangaricutiro. Gaceta Ecológica, (66), 76–80.

10. Bello-González, M. Á., Hernández-Muñoz, S., Lara-Chávez, M. B. N., & Salgado-Garciglia, R. (2015). Plantas Útiles De La Comunidad Indígena Nuevo San Juan Parangaricutiro, Michoacán, México. *Polibotánica*, (39), 175–215.
11. Brandner, R. (2013). Production and Technology of Cross Laminated Timber (CLT): A state-of-the-art Report. Mayo 9, 2017, de Graz University Sitio web: [https://www.researchgate.net/publication/261884030\\_Production\\_and\\_Technology\\_of\\_Cross\\_Laminated\\_Timber\\_CLT\\_A\\_state-of-the-art\\_Report](https://www.researchgate.net/publication/261884030_Production_and_Technology_of_Cross_Laminated_Timber_CLT_A_state-of-the-art_Report)
12. BSLC. (2017). NLT Design and Construction Guide. Octubre 25, 2017, de ThinkWood Sitio web: <https://research.thinkwood.com/resource/nlt-design-construction-guide>
13. Buchanan, A., John, S. & Love, S. (2013, febrero). Life cycle assessment and carbon footprint of timber buildings compared with steel and concrete buildings. *NZ Journal of Forestry*, 57(4), pp.9-18.
14. Carbon 12. (2018). Carbon 12. Abril 12, 2018, de Carbon 12 Sitio web: <https://carbon12pdx.com/gallery/>
15. Chapela, F. (2012). Estado de los bosques de México. noviembre 9, 2017, de CCMSS Sitio web: [http://www.ccmss.org.mx/descargas/Estado\\_de\\_los\\_bosques\\_en\\_Mexico\\_final.pdf](http://www.ccmss.org.mx/descargas/Estado_de_los_bosques_en_Mexico_final.pdf)
16. CFE (1993). Diseño por Sismo. En Manual de Diseño de Obras Civiles (pp. 1-60). México: CFE.
17. CFE (2008). Diseño por Viento. En Manual de Diseño de Obras Civiles (pp. 1-170). México: CFE.
18. CORMA. (2015). En madera construyen primera vivienda chilena capaz de obtener aire y calor del suelo. Abril 12, 2018, de CORMA Sitio web: <http://www.corma.cl/corma-al-dia/biobio/en-madera-construyen-primera-vivienda-chilena-capaz-de-obtener-aire-y-calor-del-suelo>
19. CREARA. (2013). Diagnóstico de emisiones de GEI en el sector de la construcción en México. noviembre 6, 2017, de INECC Sitio web: [http://www.inecc.gob.mx/descargas/cclimatico/2012\\_estudio\\_cc\\_mitgef14.pdf](http://www.inecc.gob.mx/descargas/cclimatico/2012_estudio_cc_mitgef14.pdf)
20. CYPE. (2018). Generador de precios. México. Abril 6, 2018, de CYPE Ingenieros Sitio web: <http://www.mexico.generadordeprecios.info>
21. EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. (2004). EN 384:2004 Structural timber — Determination of characteristic values of mechanical properties and density. Bruselas: EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION.
22. EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. (2009). EN 338:2009 Structural timber – Strength classes. Bruselas: EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION.
23. Fernández, E. (2015). EL FSC EN MÉXICO: Retos y oportunidades de la certificación de buen manejo forestal en el marco de la silvicultura comunitaria. Octubre 25, 2016, de Consejo Civil Mexicano para la Silvicultura Sostenible Sitio web: <http://www.ccmss.org.mx/wp-content/uploads/2015/11/FSC-Mexico-General.pdf>
24. FSC. (2018). FSC Public Search. Recuperado el 16 de mayo de 2018, a partir de <https://info.fsc.org/certificate.php#result>
25. García-Frapolli, E., & Cisneros, R. L. (2011). Barreras E Incentivos Económicos Para La Restauración De La Biodiversidad. *Acta Biológica Colombiana*, 16(2), 269–279.
26. García, L., Guinedo, A., Peraza, C. & de Palacios, P. (2002). La madera y su tecnología. Madrid: Fundación Conde del Valle de Salazar y Ediciones Mundi-Prensa.
27. Gernandt, D. & Pérez-de la Rosa, J. (2013, marzo 25). Biodiversidad de Pinophyta (coníferas) en México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 85, pp.126-133.
28. Gobierno de la Ciudad de México. (2017, diciembre 15). NORMAS TÉCNICAS COMPLEMENTARIAS PARA DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE ESTRUCTURAS DE MADERA. *Gaceta Oficial de la Ciudad de México*, pp. 567-613.
29. González, P., Saavedra, E., Perez, E., Burgos, C., Piña, F. & Wagner, M. (2015). SISTEMA CONSTRUCTIVO EN MADERA CONTRALAMINADA PARA EDIFICOS. Santiago: Universidad de Santiago de Chile.
30. Green, M. & Karsh, J. (2013). THE CASE FOR Tall Wood BUILDINGS. Septiembre 20, 2016, de MG ARCHITECTURE Sitio web: <http://mg-architecture.ca/work/the-case-for-tall-wood/>
31. HAUT. (2018). HAUT. Recuperado el 24 de abril de 2018, a partir de <https://hautamsterdam.nl/en/building/>

32. Hooper, E. (2015). Innovative Detail: Wood Innovation and Design Centre. Septiembre 30, 2016, de THE JOURNAL OF THE AMERICAN INSTITUTE OF ARCHITECTS Sitio web: [http://www.architectmagazine.com/technology/detail/innovative-detail-wood-innovation-and-design-centre\\_o](http://www.architectmagazine.com/technology/detail/innovative-detail-wood-innovation-and-design-centre_o)
33. Horx-Strathern, O., Varga, C. & Guntschnig, G. (2017). The future of Timber Construction. CLT – Cross Laminated Timber. A study about changes, trends and technologies of tomorrow. Marzo 11, 2018, de Stora Enso Sitio web: <http://www.clt.info/wp-content/uploads/2017/06/Stora-Enso-The-future-of-timber-construction-EN.pdf>
34. ICC. (2018). International Building Code. USA: ICC.
35. IMEPLAN. (2016, Julio 18). POTmet Plan de Ordenamiento Territorial Metropolitano del AMG. Periódico Oficial del Estado de Jalisco, p. 13.
36. Karacaibely, E. & Douglas, B.. (2013). CLT-Handbook US Edition. Abril 4, 2016, de ThinkWood Sitio web: [https://www.thinkwood.com/wp-content/uploads/2017/12/CLT\\_USA-Complete-document-Think\\_Wood.pdf](https://www.thinkwood.com/wp-content/uploads/2017/12/CLT_USA-Complete-document-Think_Wood.pdf)
37. Koo, K. (2013). A Study on Historical Tall-Wood Buildings in Toronto and Vancouver. Octubre 17, 2016, de FP Innovations Sitio web: <https://fpinnovations.ca/Extranet/Assets/ResearchReportsWP/E4813.pdf>
38. Lara J. (2016, mayo 3). El corredor urbano Nuevo México-Tesistán en Zapopan, Jalisco: un nuevo rompecabezas inmobiliario. Revista Transporte y Territorio, vol. 15, pp.323-347.
39. LEVER ARCHITECTURE. (2017). Projects. Abril 12, 2018, de LEVER ARCHITECTURE Sitio web: <https://leverarchitecture.com/projects>
40. López, E. (2017). Gerente de ventas de la CINSJP. Comunicación personal.
41. MGA. (2016). T3 Minneapolis. Abril 12, 2018, de MG ARCHITECTS Sitio web: <http://mg-architecture.ca/work/t3-minneapolis/>
42. Municipio de Zapopan. (2014). REGLAMENTO DE CONSTRUCCIONES Y DESARROLLO URBANO DEL MUNICIPIO DE ZAPOPAN, JALISCO Y NORMAS TÉCNICAS COMPLEMENTARIAS PARA DISEÑO POR SISMO. Noviembre 3, 2017, de SMIE Sitio web: <http://www.smie.org.mx/layout/reglamentos-construccion/jalisco-reglamento-construccion-municipal-zapopan-2014.pdf>
43. Ordóñez J., H. J. de Jong B. & Masera O. (otoño 2001). Almacenamiento de carbono en un bosque de Pinus pseudostrobus en Nuevo San Juan, Michoacán. Madera y Bosques, vol. 7, num. 2, pp.27-47.
44. Rizo, D., Navarro, A., Rodríguez, E., Vázquez, Z. & Díaz, G. (2017). Edificación de viviendas con sistemas constructivos de madera masiva. Tlaquepaque: ITESO.
45. Robles, F. & Echenique, R. (1983). Estructuras de Madera. México: Limusa.
46. Schickhofer, G. & Hasewend, B. (2000). Solid Timber Construction – A construction system for residential houses, office and industrial buildings. Octubre 20, 2016, de Graz University of Technology Sitio web: [http://www.holzbauforschung.at/fileadmin/products\\_online/bsp\\_online/COST\\_2000\\_engl.pdf](http://www.holzbauforschung.at/fileadmin/products_online/bsp_online/COST_2000_engl.pdf)
47. SEMARNAT. (2016). Anuario Estadístico de la Producción Forestal 2015. México: Dirección General de Gestión Forestal y de Suelos.
48. Sotomayor, J., Herrera, M. & Cruz, J. (2003). CLASIFICACIÓN MECÁNICA DE LA MADERA DE 100 ESPECIES MEXICANAS. XII World Forestry Congress, Quebec, Canadá.
49. Tapia, H. (2017, julio 25). Modernizan aserradero en San Juan Nuevo. Recuperado a partir de <http://www.lavozdemichoacan.com.mx/regional/modernizan-aserradero-san-juan-nuevo/>
50. Turbi, M. (2015). TESIS PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE MÁSTER TECNOLOGÍA DE LA ARQUITECTURA. DEGRADACIÓN ACELERADA EN CÁMARA CLIMÁTICA DE SUPERFICIES DE MADERA CON DIFERENTES TRATAMIENTOS Y COMPARACIÓN CON LA DEGRADACIÓN NATURAL A LARGO PLAZO. Barcelona: UNIVERSIDAD POLITECNICA DE CATALUÑA.
51. UNEP. (2009). Buildings and Climate Change: Summary for Decision-Makers . febrero 22, 2017, de UNEP Sitio web: <http://www.unep.org/sbci/pdfs/SBCI-BCCSummary.pdf>
52. Vera, J. R. N., & Padilla, A. O. (2011). Aproximación a la génesis de la contribución de la densidad en la noción de “ciudad compacta”. EURE, 37(112), 23–41.

53. WAUGH THISTLETON ARCHITECTS. (2009). Murray Grove – The Original Timber Tower. Octubre 21, 2016, de WAUGH THISTLETON ARCHITECTS Sitio web: <http://waughthistleton.com/murray-grove/>
54. Para los puntos 1, 3 y 4 se contó con la ayuda de dos equipos de alumnos de licenciatura del ITESO del Proyecto de Aplicación Profesional (PAP) sobre Tecnología apropiada para la generación de sistemas constructivos, durante los periodos de verano y otoño 2017.

### **2.5.7 Propuesta de nuevo esquema energético en la producción de arroz en Cuba, desde la valorización de los residuos de cosecha por digestión anaerobia, con un enfoque de ACV.**

**M.C. Edelvy Bravo Amarante** Es profesor del Centro de Estudios sobre Energía y Procesos Industriales (CEEPI), Universidad de Sancti Spiritus "José Martí Pérez". Investiga la sostenibilidad de proyectos de energías renovables.

**Ralf Kiran Schulz** Es profesor del Instituto de Formación Profesional (IBB), Universidad de la Kassel, Alemania. Investiga sobre la formación profesional para el desarrollo sostenible.

**Oswaldo Romero Romero** Es profesor del Centro de Estudios sobre Energía y Procesos Industriales (CEEPI), Universidad de Sancti Spiritus "José Martí Pérez". Investiga sobre el desarrollo sostenible y producción de biogás a partir de diferentes sustratos.

**Zuleiqui Gil Unday** Es profesora del Centro de Estudios sobre Energía y Procesos Industriales (CEEPI), Universidad de Sancti Spiritus "José Martí Pérez". Investiga sobre los indicadores de sostenibilidad en instituciones universitarias.

**Eduardo López Bastida** Es profesor del Centro de Estudios de Energía y Medio Ambiente, Universidad de Cienfuegos, Cuba. Investiga en temas de economía ecológica y sostenibilidad. Es miembro de la academia de ciencias de Cuba.

**Dra. Leonor Patricia Güereca Hernández** Es Doctora en Ingeniería Ambiental por la Universidad Politécnica de Cataluña, Investigadora Titular del Instituto de Ingeniería de la UNAM. Miembro del Sistema Nacional de Investigadores, Presidenta fundadora de la Red Mexicana de Análisis de Ciclo de Vida A.C. y Presidenta de Asociación Mexicana de Ingeniería, Ciencia y Gestión Ambiental (AMICA).

**M.I. Dora Yesenia Ruiz Méndez\*** Es maestra en Ingeniería Ambiental por la UNAM. Actualmente desarrolla estudios de post.-maestría en el Instituto de Ingeniería de la UNAM participando en proyectos de evaluación de energías renovables, análisis de ciclo de vida, análisis de ciclo de vida organizacional y desarrollo de software.

**Dirección:** Circuito Escolar S/N Instituto de, Ingeniería, Ciudad Universitaria, 04510 Ciudad de México, CDMX. Tel: +52 (55) 56233600 x 8709

**Email:** [DRuizM@iingen.unam.mx](mailto:DRuizM@iingen.unam.mx)

#### **RESUMEN**

En este Estudios experimentales recientes han demostrado que la implementación de biomasa como recurso energético proporcionaría alrededor del 98% de energía renovable y habría ayudado a transformar la contribución renovable del 6% al 55% en la matriz de generación eléctrica en la provincia de Sancti Spiritus, Cuba. El objetivo de esta investigación es la propuesta de un esquema energético en la producción de arroz en Cuba a partir del análisis de cuatro alternativas posibles, en dos escenarios diferentes, para la valorización de la paja de arroz con fines energéticos. La misma se realiza a partir de la hipótesis de que cualquier valorización de la paja de arroz con fines

energéticos reducirá los impactos ambientales en todo el sistema productivo. Este estudio demostró que las tres alternativas propuestas para la valorización de la paja de arroz con fines energéticos en el proceso de producción de arroz en Cuba no solo son tecnológicamente posibles, sino que también son más sostenibles desde el punto de vista ambiental. Las herramientas de evaluación de impacto ambiental como la Evaluación del Ciclo de Vida y dentro de ella las metodologías ReCiPe y la Huella Ecológica, permitieron evaluar los procesos de producción donde se va a valorizar el residuo de la producción de arroz con fines energéticos. Sin embargo, para este tipo de análisis en proyectos de energía renovable, se recomienda encarecidamente evaluar los límites de forma objetiva, para cada estudio específico y según los objetivos deseados.

**PALABRAS CLAVE:** Biogás, Análisis de ciclo de vida, producción de arroz.

## **INTRODUCCIÓN**

Estudios experimentales recientes han demostrado que la implementación de biomasa como recurso energético proporcionaría alrededor del 98% de energía renovable y habría ayudado a transformar la contribución renovable del 6% al 55% en la matriz de generación eléctrica en la provincia de Sancti Spíritus, Cuba.

Los desechos agroindustriales de la producción de arroz, específicamente la paja de arroz, son uno de los más problemáticos para eliminar durante la cosecha de arroz. En todo el mundo, se producen más de 730 millones de toneladas de paja de arroz por año (Zhao et al., 2010). Por otro lado, la valorización de la paja de arroz con fines energéticos mediante la tecnología de digestión anaeróbica (AD) ha sido muy atractiva en las últimas décadas (Wang et al., 2009) (Contreras et al., 2014).

El ACV se utiliza cada vez más en la gestión de desechos para identificar estrategias que prevengan o minimicen los impactos negativos en los ecosistemas, la salud humana o los recursos naturales (Laurent et al., 2014).

## **OBJETIVOS**

El objetivo de esta investigación es la propuesta de un esquema energético en la producción de arroz en Cuba a partir del análisis de cuatro alternativas posibles, en dos escenarios diferentes, para la valorización de la paja de arroz con fines energéticos. La misma se realiza a partir de la hipótesis de que cualquier valorización de la paja de arroz con fines energéticos reducirá los impactos ambientales en todo el sistema productivo.

## **METODOLOGÍA**

La investigación utiliza el software de análisis de ciclo de vida, OpenLCA, y la metodología utilizada es ReCiPe y está construida sobre la base de Eco-indicator 99 y CML (Centrum Milieukunde Leiden).

## **LÍMITES DEL SISTEMA, UNIDAD FUNCIONAL Y BASE DE DATOS**

El objetivo de la evaluación es el sistema de producción de arroz, la unidad funcional que se consideró para el estudio fue la capacidad de producción de 40 000 toneladas de arroz por año. Los límites geográficos considerados incluyen todas las áreas de la empresa utilizadas para la

producción de arroz en la fase agrícola e industrial, los límites de tiempo considerados incluyen todos los flujos materiales y energéticos necesarios para la producción de arroz en dos etapas de cosecha para un año de producción. En la investigación, se determinó comparar cuatro alternativas en dos escenarios para la valorización de paja de arroz con fines:

Primer escenario: consideró los flujos de masa y energía dentro de los límites propuestos del sistema de producción de arroz, incluidas las emisiones de dióxido de carbono generadas en las dos fases del proceso (fase agrícola e industrial).

Segundo escenario: Consideró los flujos de masa y energía dentro de los límites propuestos, pero consideró también la diferencia entre las emisiones de CO<sub>2</sub> en el sistema de producción de arroz (fase agrícola e industrial) y las evitadas por la no generación de electricidad en una planta térmica, cuando se valora la paja de arroz con fines energéticos (Contreras et al., 2014).

La alternativa 1 es el escenario básico y coincide con el sistema de producción de arroz (producto principal) que se usa actualmente, donde toda la paja (subproducto) generada en la fase de cosecha se incorpora al suelo, y los tres restantes (Alternativa 2, 3 y 4) se corresponden con nuevas propuestas de esquemas energéticos en la producción de arroz utilizando los residuos de cosecha (paja de arroz) para la obtención de energía renovable a través de la digestión anaerobia.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la categoría de impacto del cambio climático expresada en kg CO<sub>2</sub>-Eq., las tres alternativas 2, 3 y 4, donde se considera la valorización de la paja de arroz con fines energéticos, presentaron los mejores resultados. La alternativa 4, donde parte del biogás generado se utiliza en el transporte de los diferentes productos tiene el menor impacto sobre el cambio climático, con una diferencia de la alternativa 1 actualmente utilizada,  $4.09923 \times 10^{-7}$  kg de CO<sub>2</sub>-Eq. En la categoría de impacto de formación de partículas expresada en (kg PM<sub>10</sub>-Eq), las alternativas 2 y 3 tienen los resultados más desfavorables con emisiones de  $3.46561 \times 10^{-5}$  kg PM<sub>10</sub>-Eq. Este valor es más alto que la alternativa 1 (la utilizada actualmente), que está asociada con el aumento necesario del consumo de diésel para la transportación de los diferentes productos en el proceso. Sin embargo, en la Alternativa 4, las emisiones se reducen en  $1.86204 \times 10^{-5}$  kg PM<sub>10</sub>-Eq cuando el biogás se usa como fuente de combustible para el reemplazo de una parte del diésel usado en el transporte. En las categorías de daños finales, las tres alternativas en las que se propone valorizar la paja de arroz con fines energéticos tienen ventajas con respecto a la Alternativa 1. Las Alternativas 2 y 3 tienen una puntuación de  $9.11450 \times 10^{-5}$  menos que la Alternativa 1; y la Alternativa 4 alcanza un puntaje de  $3.033540 \times 10^{-6}$  menos que la Alternativa 1 y de  $2.119390 \times 10^{-6}$  puntos con respecto a las Alternativas 2 y 3, lo que hace que la Alternativa 4 sea la que menos daña el medio ambiente.

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Este estudio demostró que las tres alternativas propuestas para la valorización de la paja de arroz con fines energéticos en el proceso de producción de arroz en Cuba no solo son tecnológicamente posibles, sino que también son más sostenibles desde el punto de vista ambiental. Entre las alternativas evaluadas, la alternativa donde parte del biogás generado se utiliza para asumir el incremento y sustituir parte del diésel utilizado en el transporte de los diferentes productos en el proceso es la que tiene los impactos ambientales más bajos, lo que lo convierte en la más viable.

Las herramientas de evaluación de impacto ambiental como la Evaluación del Ciclo de Vida y dentro de ella las metodologías ReCiPe y la Huella Ecológica, permitieron evaluar los procesos de producción donde se va a valorizar el residuo de la producción de arroz con fines energéticos. Sin embargo, para este tipo de análisis en proyectos de energía renovable, se recomienda encarecidamente evaluar los límites de forma objetiva, para cada estudio específico y según los objetivos deseados.

## REFERENCIAS

- Abril, D., Navarro, E., & Abril, A. (2009). La Paja De Arroz. Consecuencias De Su Manejo Y Alternativas De Aprovechamiento. *Agron*, 17(2), 69–79.
- Contreras, L. M., Romero, O. R., Martínez-Castro, Y., Reyes, I. P., & Finco, A. (2014). Energetic, environmental and economic potentialities of the anaerobic treatment of rice straw for the case of the Cuban enterprise “Sur del Jíbaro”. *International Journal of Global Energy Issues*, 37(5/6), 267–281. <https://doi.org/10.1504/IJGEI.2014.067670>
- Laurent, A., Bakas, I., Clavreul, J., Bernstad, A., Niero, M., Gentil, E., ... Christensen, T. H. (2014). Review of LCA studies of solid waste management systems - Part I: Lessons learned and perspectives. *Waste Management*, 34(3), 573–588. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2013.10.045>
- Standard, I. (2006). INTERNATIONAL STANDARD assessment — Requirements and, 2006.
- Wang, G., Gavala, H. N., Skiadas, I. V., & Ahring, B. K. (2009). Wet explosion of wheat straw and codigestion with swine manure: Effect on the methane productivity. *Waste Management*, 29(11), 2830–2835. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2009.07.004>
- Zhao, R., Zhang, Z., Zhang, R., Li, M., Lei, Z., Utsumi, M., & Sugiura, N. (2010). Methane production from rice straw pretreated by a mixture of acetic-propionic acid. *Bioresource Technology*, 101(3), 990–994. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2009.09.020>

### 2.5.8 Maqueta didáctica de un mini biodigestor educativo como recurso pedagógico para conocer y comprender el proceso de biodigestión anaeróbica que produce biogás y digestato.

#### Daniella Parodi Miranda

Diseñadora Industrial, Universidad de Chile. Docente en la carrera de Diseño industrial de la Universidad de Chile. Tutora en Diplomado Ecodiseño para los desafíos de la ley REP. Diseñadora en Ecodiseño.cl Ltda. Ponente en el Segundo Congreso Latinoamericano de Ecodiseño EcodAI 2016, Colombia.

#### Alejandro Chacón Aguirre

Ingeniero Mecánico especializado como Ingeniero de desarrollo de productos. Propulsor del Ecodiseño en Chile. Fundador de Ecodiseño.cl Ltda, empresa especializada en capacitación, asesorías y aplicación de Ecodiseño. Docente de la Universidad de Chile.

#### Cecilia Mujica Muñoz

Diseñadora Industrial, Universidad de Chile (2009). Especialista en Ecodiseño y Gestión de la sostenibilidad en el ámbito de la innovación y Diseño con enfoque sistémico. Coordinadora de proyectos en Ecodiseño.cl Ltda., del año 2012 al presente. Docente de la Universidad de Chile.

**Dirección:** Pasaje Mejillones N°61 – Maipú, Santiago - Chile – Tel.: (+56) 971682947.

## RESUMEN

El proyecto tiene como objetivo desarrollar la maqueta didáctica de un mini biodigestor anaeróbico educativo, que permita conocer y comprender el proceso de biodigestión anaeróbica y las condiciones necesarias para lograr un proceso eficiente de generación de Biogás y Digestato a través del uso de residuos orgánicos. El proyecto surge en el contexto de una Academia de Innovación Energética promovida por la Corporación Regional de Desarrollo Productivo de Coquimbo (CRDP) y financiado por el fondo de Fortalecimiento y Articulación de la Educación Técnico Profesional del Ministerio de Educación, busca vincular la formación de liceos técnicos con energías renovables (energía solar, eólica y biogás) en 8 liceos de la región de Coquimbo, Chile.

Para el desarrollo se formó un equipo multidisciplinar, que estableció los requerimientos a partir de las estrategias del ecodiseño, innovación y uso de tecnologías digitales, llevándose a cabo en el FabLab de la Escuela de Ingeniería de la Universidad de Chile. Luego de desarrollar la maqueta, al analizar el ciclo de vida se identificó que el punto crítico corresponde a el uso de terciado estructural para la mesa.

Como parte del proyecto se capacitaron a los docentes en la tecnología de biodigestores, así como en el uso de la maqueta didáctica.

Finalmente, los equipos se instalaron en cada uno de los colegios que participaron del proyecto, de los cuales depende hoy dar uso y valor al biogás y al digestato, pero por sobre todo a los procesos de aprendizaje y conocimiento que pueden entregar a sus alumnos.

**Palabras clave:** biodigestor, biogás, digestato, innovación, recurso pedagógico.

## INTRODUCCIÓN Y JUSTIFICACIÓN

La creciente generación de residuos orgánicos, es un tema de interés para los distintos sectores sociales y productivos del país debido a su impacto en el medio ambiente (Arellano & Ginocchio, 2013) y aunque en Chile se han realizado avances en este ámbito, la gestión de los residuos orgánicos generalmente es abordada hasta ahora de manera reactiva y parcializada, limitándose a la recolección y disposición final, dando menos cabida a las alternativas de valorización (MMA, 2012).

En 2014 el 94,4% de los residuos municipales fueron directamente a destino final y solo el 5,6% de los residuos sólidos municipales fueron valorizados (MMA, 2016). Sin embargo, los avances en la ciencia y la tecnología han permitido demostrar que, si separamos los residuos y tratamos correctamente, estos desechos no son “basura” sino materias primas valiosas. Este contexto da cabida a los biodigestores como solución para el tratamiento de residuos orgánicos domiciliarios, los cuales son biodegradables (se descomponen naturalmente) y tienen la característica de poder desintegrarse o degradarse rápidamente, transformándose en otro tipo de materia orgánica, por ejemplo: los restos de comida, frutas y verduras, sus cáscaras, carne, huevos, etc.

Los Biodigestores son una tecnología “creada por el hombre”, inspirada en el proceso bioquímico de la naturaleza para transformación de los residuos orgánicos. Dentro de un biodigestor ocurre un proceso de digestión anaeróbica, proceso biológico natural a través del cual la materia orgánica, en ausencia de oxígeno y mediante la acción de un grupo de microorganismos específicos, se descompone en productos gaseosos o biogás (que tienen valor combustible), y en Digestato, un biofertilizante orgánico que puede ser utilizado de dos formas: sólido como abono, o líquido como

fertirriego, está compuesto por una mezcla de productos minerales (N, P, K, Ca, etc.) y compuestos de difícil degradación (Arévalo, 2015; IDAE, 2007).

Un biodigestor funciona de manera similar a un ser vivo, ya que para que mantenga su sistema en funcionamiento es necesario alimentarlo de manera constante respetando su rutina, cuidando ciertos parámetros para que el proceso se mantenga en óptimas condiciones. Estos parámetros corresponden principalmente a la temperatura y el pH.

Sin embargo, Chile no contaba con biodigestores de pequeña escala, que permitiesen montarlos en una sala de clases, por lo cual ante el encargo del CRDP (Corporación Regional de Desarrollo Productivo de Coquimbo), que buscaba enseñar la tecnología de biodigestión en el contexto de una academia de innovación energética para alumnos de enseñanza media de ocho liceos técnicos, surge la necesidad de innovar y desarrollar una solución, por lo tanto el objetivo de este trabajo es desarrollar una maqueta didáctica de un Mini Biodigestor con fines educativos, para que estudiantes de nivel medio puedan con sus residuos orgánicos conocer y comprender el proceso de biodigestión anaeróbica, operando de manera autónoma el equipo, monitoreando las condiciones necesarias que posibiliten un proceso eficiente para la generación de Biogás y Digestato.

Para llevar a cabo el proyecto, se conformó un equipo multidisciplinar, el cual definió los requerimientos de diseño, de operación y de construcción del equipo para una operación óptima según las necesidades de un proceso de biodigestión anaeróbica. Durante la creación y desarrollo se aplicaron las estrategias del ecodiseño, se incorporó el uso de tecnologías digitales, tanto de diseño como de fabricación del modelo. Finalmente se incorporó un Análisis de Ciclo de Vida para identificar los puntos críticos de impacto ambiental del equipo diseñado.

Por lo tanto, se aplicaron los conceptos claves del ecodiseño, el primero es el ciclo de vida, tomando conciencia del ciclo de vida del producto a desarrollar. Luego Información ambiental, ya que a través del análisis de ciclo de vida se pueden cuantificar aspectos ambientales, jerarquizar y ver alternativas de mejora. Por último, innovación, ya que la creatividad e Innovación, impulsan la Sostenibilidad. El resultado es un Mini Biodigestor Educativo, el cual fue desarrollado por un equipo multidisciplinar de la empresa Ecodiseño.cl, en el Fablab de la Universidad de Chile, llegando a ser un claro representante de la economía circular.

Hoy, el Mini Biodigestor puede ser utilizado como un recurso pedagógico y didáctico que permite conocer y comprender el proceso de biodigestión anaerobia junto a las condiciones necesarias para lograr un proceso eficiente de generación de biogás y digestato con residuos orgánicos domiciliarios.

## **OBJETIVOS**

### **Objetivo general:**

El objetivo de este trabajo es desarrollar una maqueta didáctica de un mini biodigestor con fines educativos, para que estudiantes de nivel medio puedan conocer y comprender el proceso de biodigestión anaeróbica operando de manera autónoma el equipo.

### **Objetivos específicos:**

- Definir requerimientos y componentes para el correcto funcionamiento de un biodigestor de pequeña escala que produce biogás y digestato.

- Establecer requerimientos constructivos y de diseño de la maqueta a través de la incorporación de estrategias del ecodiseño, innovación y el uso de tecnologías digitales.
- Analizar el ciclo de vida para identificar los puntos críticos de impacto ambiental del equipo diseñado, a través de un ACV tipo Scan para ecodiseño.
- Transmitir las capacidades de la maqueta didáctica como recurso pedagógico a través de capacitaciones y el desarrollo de un manual de uso para los docentes.

## **METODOLOGÍA EMPLEADA**

El proyecto se desarrolló en cuatro fases, las que permitieron primeramente establecer los requerimientos y componentes para el correcto funcionamiento de un biodigestor de muy pequeña escala, luego establecer los requerimientos constructivos y de diseño de la maqueta, lo cual se llevó a cabo por un equipo multidisciplinar que abarca las disciplinas de ingeniería, química y diseño.

En cuanto a las etapas de funcionamiento, el elemento principal del biodigestor corresponde al reactor, donde ocurre el proceso bioquímico de degradación de la materia orgánica (Varnero Moreno, 2011), en relación a esto se definen tres etapas principales que se deben integrar claramente en la maqueta para que los estudiantes las puedan seguir: Preparación, Biodigestión y Demostración.

Para desarrollar la maqueta, el equipo de trabajo planteó requerimientos de diseño a cumplir desde las distintas disciplinas, considerando siempre aplicar criterios y las estrategias de ecodiseño durante su desarrollo, pues se estima que el 80% de los impactos ambientales generados por un producto o servicio se definen en el momento de diseño (Agencia Federal Alemana de Medio Ambiente, sf).

Los siguientes son los requerimientos de diseño para llevar a cabo el proyecto, los cuales se plantean con consideraciones de sostenibilidad a través de las estrategias del ecodiseño:

- 1.- Didáctico y lúdico, ya que debe ser un recurso pedagógico.
- 2.- Mostrar el proceso de manera transparente, a modo de un laboratorio.
- 3.- Poseer bajo consumo energético.
- 4.- Ser desarmable para el transporte y tener medidas que permitan su desplazamiento.
- 5.- Ser durable y reparable.
- 6.- Sus componentes se separan para facilitar su reciclaje.
- 7.- Uso de tecnologías digitales en su fabricación.

A partir de estos requerimientos y utilizar la metodología y herramientas asociadas al ecodiseño, se pretende desarrollar un producto fácil de usar para los usuarios, que muestre de manera clara su proceso y tecnología, además de disminuir los impactos ambientales a lo largo de todo su ciclo de vida, a través del uso de estrategias como la eficiencia energética y reparabilidad.

Una de las herramientas que se aplican en un proceso de ecodiseño corresponde al Análisis de Ciclo de Vida (ACV), por lo tanto, luego de desarrollar una primera maqueta del equipo, se realizó el Análisis del Ciclo de Vida tipo Scan, el cual se utiliza específicamente para ecodiseño, con el objetivo de identificar los puntos críticos de impacto ambiental para luego de tener identificados los puntos

críticos, o sea aquellos que poseen mayor impacto ambiental, pasar a la etapa de integrar el análisis de diseño. Al integrar los requerimientos ambientales con los de diseño, se entra en la etapa de innovación y rediseño que incorpora mejoras al producto o servicio con un enfoque sistémico. Por tanto se puede decir que el ACV tipo Scan presenta las bases para alcanzar un mejor desempeño del ciclo de vida de productos y servicios, permitiendo la implementación del desarrollo sostenible en el diseño de producto.

En la última fase, se realizó una serie de capacitaciones a los docentes de los colegios donde se instalaron los equipos, para acercar el conocimiento e incentivar el uso correcto de la maqueta como recurso pedagógico en la sala de clases.

## **DESARROLLO DEL MINI BIODIGESTOR EDUCATIVO**

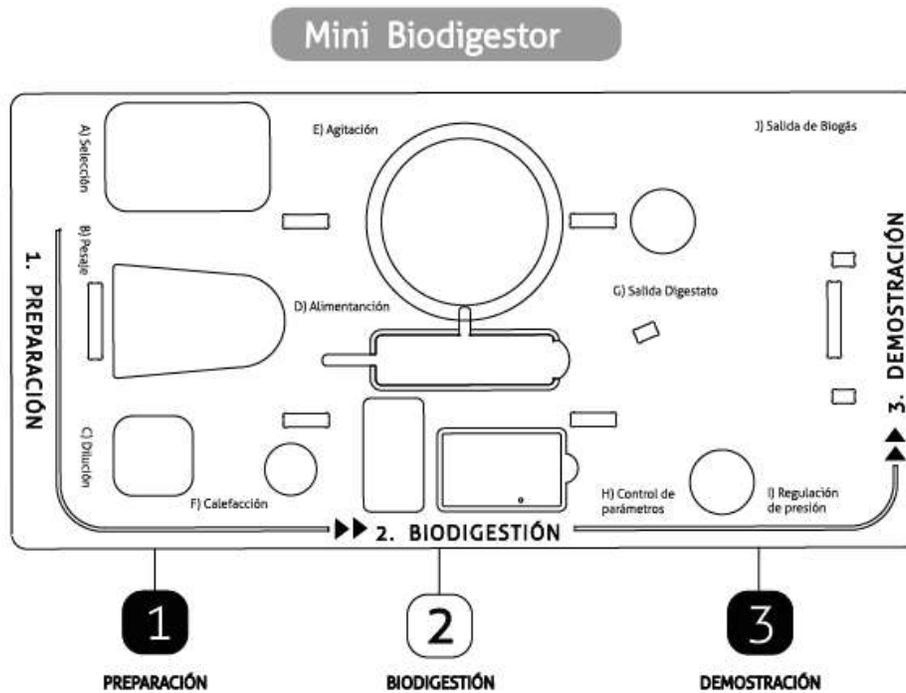
### **Etapas de funcionamiento**

El biodigestor debe operar bajo los mismos principios técnicos de un equipo de gran tamaño, ya que de esto depende que se produzca biogás y digestato. Se debe considerar primeramente inoculación, que corresponde a la introducción de microorganismos, en cantidad y calidad, que propicien la puesta en marcha. Luego de pasar este periodo el biodigestor debe ser alimentado con ciertas precauciones y ritmos, debe poseer un agitador, válvula de seguridad y es muy importante mantener controlada la temperatura, el pH y alcalinidad.

En base a esto se definen las etapas de funcionamiento que se presentan en figura 1, las cuales conducen al estudiante a llevar a cabo el proceso de biodigestión. En la primera etapa de “preparación” el estudiante dispone el alimento, que corresponde a residuos orgánicos domiciliarios y lo lleva a las condiciones necesarias para ingresarlo al reactor donde se encuentran las bacterias, dando paso con la alimentación a la etapa de “biodigestión” en la cual ocurre el proceso anaeróbico, en ésta los estudiantes deben preocuparse de agitar y de que los parámetros de temperatura y pH se encuentren correctos.

En esta etapa, para lograr el correcto funcionamiento de los procesos del biodigestor, se utiliza Arduino, una plataforma electrónica de código abierto basada en hardware y software fácil de usar ([www.arduino.cc](http://www.arduino.cc)) que permite llevar el control de temperatura del reactor, el cual con muy pocos componentes demuestra a través de 3 leds de distintos colores, si la temperatura del reactor es la adecuado o si es necesario calefaccionar.

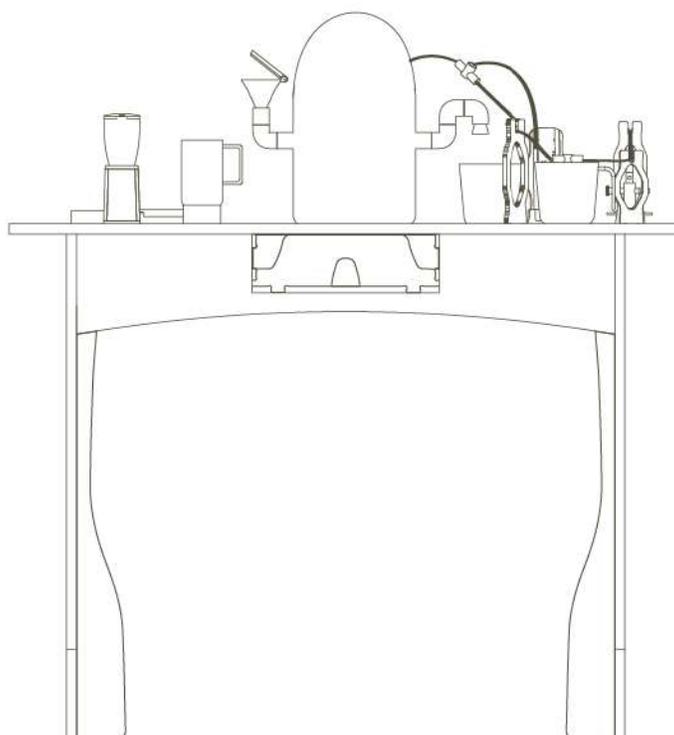
En cuanto a la última etapa, de “demostración”, ésta permite a través del olor, obtención de digestato y salida de biogás observar que el proceso está ocurriendo.



**Figura 1: Etapas de funcionamiento del Mini Biodigestor Educativo. Elaboración Ecodiseño.cl.**

### Diseño y Fabricación digital

A partir de la metodología de diseño, se siguieron las etapas que consistieron en revisar referentes, se conceptualizó, para luego comenzar a modelar en softwares 2D y 3D (figura 2), prototipar e iterar, etapa de bastante trabajo pues al ser el biodigestor educativo una tecnología no existente, se hicieron gran cantidad de pruebas para definir sus partes y componentes como se observa en figura 3 y 4. Además, se plantearon requerimientos relacionados con su contexto y función, lo cual determina el tamaño, ya que el Mini Biodigestor debe ingresar por la puerta de las salas de clases, que no debe contener elementos que puedan causar riesgos a los estudiantes, que debe permitir la limpieza, entre otros que se mencionaron anteriormente.



**Figura 2: Desarrollo 2D del Mini biodigester. Ecodiseño.cl.**

Para integrar el uso de tecnologías digitales y fabricación digital, el biodigester se desarrolló en el Fablab de la Universidad de Chile, a través de su programa Hardware Startups, de esta manera existió el acceso a impresoras 3D, softwares de modelamiento, Router CNC y un lugar de trabajo colaborativo.

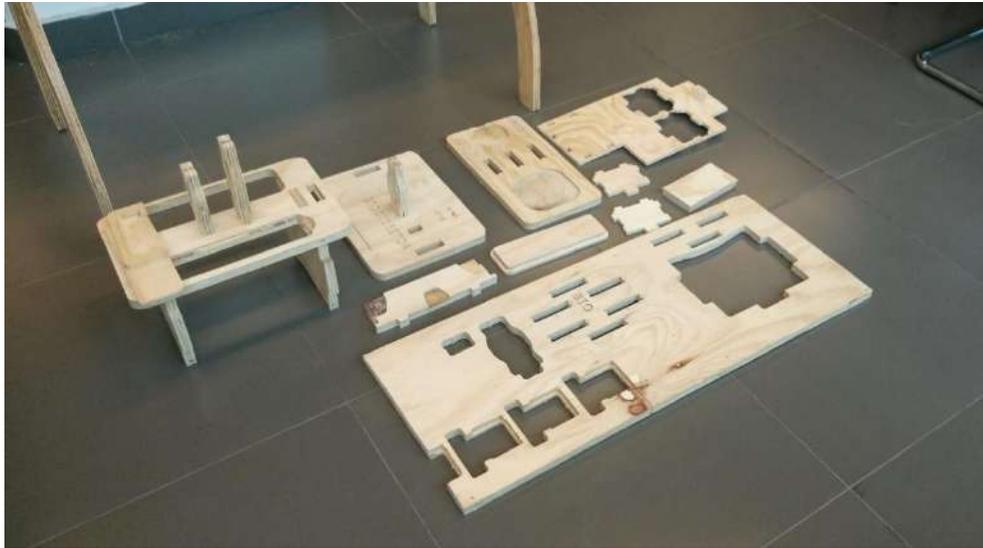
El soporte del reactor (figura 5) que es donde se apoyan todos los componentes junto al reactor, se lleva a cabo en terciado estructural de 18mm, el cual es trabajado en una Router CNC (Router cnc 3 ejes shopbot prsalph 96-60) la cual permite a través del uso de distintas fresas realizar desbastes y cortes de distintas profundidades. Cabe destacar que fue diseñado para no utilizar tornillos.

Por otra parte, varios de los elementos que acompañan al reactor son desarrollados en software 3D para luego ser impresos en impresoras 3D Impresora 3d makerbot replicator 2), permitiendo prototipar e iterar rápidamente y a bajo costo, además de mostrar a los estudiantes nuevas tecnologías.

Se utilizó filamento para la impresión 3D el PLA, compuesto de almidón de maíz que por tanto en su fin de vida es biodegradable.



**Figura 3: Iteración de piezas impresas en 3D y Router. Ecodiseño.cl.**



**Figura 4: Iteración de piezas en Router. Ecodiseño.cl.**

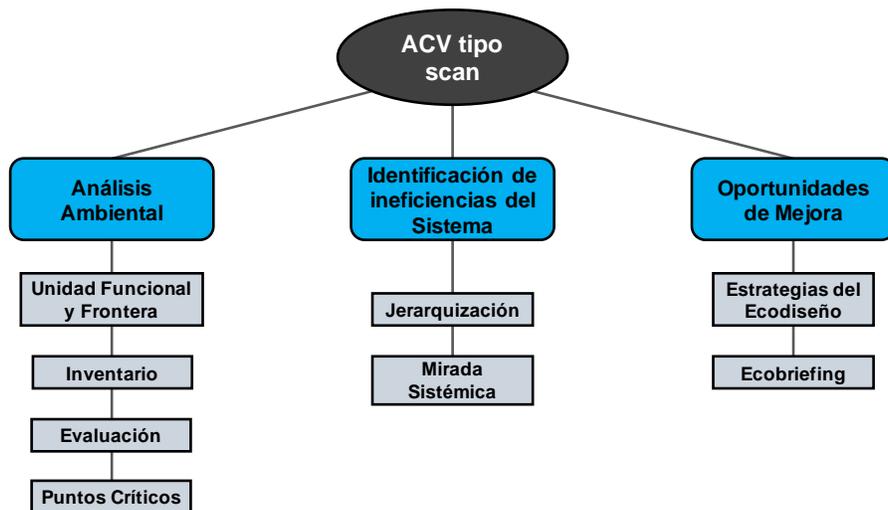


Figura 5: Partes del soporte del Mini biodigester desarrolladas en Router CNC. Ecodiseño.cl.

### Análisis de ciclo de vida para ecodiseño

El ACV es una herramienta universal que se basa en la ISO 14040, titulada en español “Gestión ambiental. Análisis de ciclo de vida. Principios y marco de referencia (ISO 14040:2006)” la cual describe los principios y el marco de referencia para el análisis del ciclo de vida (AENOR, 2006), propone una metodología para ACV, con pasos a seguir que corresponden a definición de objetivo y alcance, seguido de un inventario de ciclo de vida y su análisis, para llegar a una evaluación de impacto, finalizando con una interpretación de los resultados; pasos que generan un modelo que funciona de manera iterativa.

En este estudio, se siguen las etapas, en una modalidad de ACV tipo scan, para ecodiseño, permitiendo obtener datos rapidamente para alcanzar un desempeño mejorado del ciclo de vida, lo cual conduce al desarrollo sostenible en el diseño de productos.



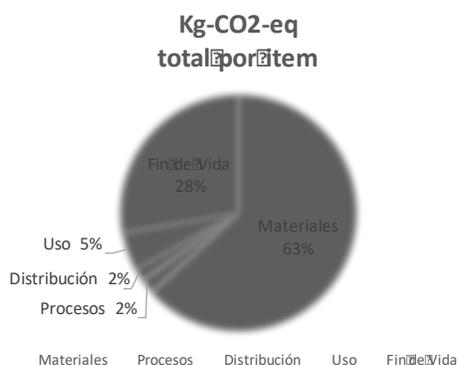
**Figura 6: Esquema de la metodología. Elaboración Ecodiseño.ci**

Para el análisis ambiental, se determinó como unidad funcional: Residuos degradados en 1 año por un mini biodigestor educativo. Suponiendo una vida útil de 10 meses, donde en el primer mes de puesta en marcha se alimentará 1 vez, y en los restantes 9 meses se alimentará 1 vez al día.

Luego se realizó un esquema del ciclo de vida considerando materiales, procesos, distribución, uso y fin de vida y se llevó a cabo también el inventario, donde se consideran entradas y salidas del sistema producto, dejando fuera de la frontera todo aquellos que aún no se había integrado a la maqueta, la balanza y la juguera. En cuanto al consumo de energía, este fue estimado, ya que al momento del análisis el Biodigestor aún no comenzaba a funcionar.

Para la evaluación del impacto se pesaron todas las piezas, se calculó el impacto en todas las etapas del ciclo de vida mencionadas anteriormente, utilizando la base de datos "Idemat 2012" y Ecoinvent v2.2.

Como puntos críticos por etapa, se obtiene como resultado un mayor impacto por los materiales, como se observa en gráfico 1.



**Gráfico 1: Puntos críticos por etapa. Elaboración Ecodiseño.ci**

Dentro de los materiales se ha detectado que el mayor impacto es causado por el soporte de terciado estructural, lo cual está dado por ser gran cantidad de material en comparación al resto de los componentes del Mini Biodigestor y por su fin de vida.

Luego del soporte, la salida del digestato, junto al reactor ocupan segundo y tercer lugar respectivamente en cuanto a su impacto por material.

En cuanto a los puntos críticos por uso, el mayor impacto está dado por la biodigestión y mantención.

Identificando las ineficiencias del sistema, se ha obtenido lo siguiente:



**Figura 7: Jerarquización ineficiencias del sistema. Elaboración Ecodiseño.ci**

Los puntos críticos como soporte, salida de digestato y reactor, son los que tienen mayor impacto, dado que utilizan mucha cantidad de material, luego la calefacción y biodigestión se estima que poseen el mayor consumo eléctrico, pero también la calefacción posee una gran carga por su fin de

vida. Y finalmente en cuanto a las etapas de mantención y preparación, estas poseen impacto dado su consumo de agua y electricidad.

### **Capacitación a docentes**

Para facilitar el uso del mini biodigestor, se desarrolló un manual de uso, el cual permite acercar al usuario a lo que significa un biodigestor, luego guía el armado de la maqueta en la sala de clases, indica cómo hacer la puesta en marcha y su posterior uso y funcionamiento. Además, entrega el conocimiento de cómo fue desarrollado, pasando por su diseño y fabricación con tecnologías digitales, con el objetivo de que el docente pueda difundirlo, generar nuevos conocimientos y despertar el interés en sus alumnos.

Luego de la capacitación se realizó la instalación y puesta en marcha de los equipos, en cada uno de los colegios participantes (figura 8).



**Figura 8: Capacitación a los docentes de la región de Coquimbo. Ecodiseño.cl.**

## **RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS**

En cuanto al desarrollo del equipo, se logró el diseño y desarrollo de un Mini Biodigestor Educativo (figura 9) que opera bajo los mismos principios técnicos de un equipo de gran tamaño como su inoculación (figura 10), pero respetando los fines didácticos que el proyecto contempla, está diseñado para operar dentro de una sala de clases o laboratorio. Cabe destacar que la maqueta fue replicada para los ocho liceos técnicos, las cuales son simples de usar, poseen bajo consumo energético, son de fácil armado, desarmado y mantención, con herramientas comunes y fáciles de conseguir, poseen el paso a paso de sus procedimientos a la vista y no produce malos olores.



**Figura 9: Mini Biodigestor Educativo. Ecodiseño.cl.**



**Figura 10: Operación de inoculación del Mini Biodigestor Educativo. Ecodiseño.cl.**

El Análisis de Ciclo de Vida para ecodiseño realizado, entregó como resultado que los puntos críticos de mayor impacto se encuentran en los materiales de la mesa principal, lo cual está dado por el soporte desarrollado en terciado estructural (madera contrachapada). Realizar el análisis, es muy importante para la etapa de mejora y rediseño del producto, sin embargo, como trabajo futuro, se considera que se debe realizar nuevamente el análisis, para incorporar algunos elementos que aún no eran definidos, así como también aquellos que poseen consumo eléctrico, pues como se mencionó, al momento de realizar el ACV, no se había puesto en marcha el Mini Biodigestor y por lo tanto no se contaba con registros de consumos de electricidad reales.

A través del manual de instalación y uso, se pudo transmitir de manera sencilla el modo de instalar y operar de la maqueta didáctica, para ser utilizada como recurso pedagógico. Al momento de la capacitación, a los docentes según su área, ya sea electrónica, química, biología, identifican posibles usos y aplicaciones en sus clases de los componentes, o las distintas etapas y procesos que ocurren en el biodigestor.

Por su parte, el uso de software 3D y tecnologías digitales del FabLab, permitieron diseñar y prototipar de manera rápida, a bajo costo y con menores impactos ambientales. Cabe destacar que el Fablab es un lugar de trabajo cooperativo multidisciplinar, en el cual se realizan de manera periódica reuniones de revisión de los proyectos que ahí se llevan a cabo, lo cual enriquece cada uno de sus proyectos, por tanto el desarrollo y las líneas de acción para las mejoras del producto han sido analizadas con profesionales ingenieros y diseñadores, tanto chilenos y extranjeros, que

están involucrados en proyectos de innovación tecnológica del FabLab de la Escuela de ingeniería de la Universidad de Chile.

Hoy, los parámetros de funcionamiento, como el pH y alcalinidad ya han sido medidos y se están estudiando gracias a la colaboración del laboratorio de Biotecnología de la Universidad de Chile.

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Luego de finalizado el proyecto, se puede identificar que, a través de elementos de la metodología de ecodiseño, se logró desarrollar un producto innovador, informado, sistémico y circular. Por otra parte, se observa que la implementación del Mini Biodigestor Educativo ha dado buenos resultados, es de interés para una gran cantidad de personas y se puede seguir un gran camino de investigación e innovación a partir de lo que se ha creado y de sus subproductos, el digestato y biogás.

A partir del análisis de ciclo de vida se han detectado oportunidades de mejora que deben ser aplicadas, pero también en cuanto a la manera de calefaccionarlo y a algunas de sus piezas y componentes.

Se ha detectado que es recomendable generar una red donde se puedan compartir nuevos conocimientos y experiencias que nacen luego de interactuar con el Mini biodigestor educativo, lo cual podría ser canalizado a través de una aplicación para celulares.

Por otra parte, luego de presentar el Mini Biodigestor en diversas instancias, diversos profesionales, empresas y estudiantes han manifestado el interés y la necesidad de que exista un biodigestor para la casa, por tanto, se recomienda desarrollar un nuevo prototipo que tome los aprendizajes de esta experiencia, integrando los requerimientos para el hogar.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Arellano, E., & Ginocchio, R. (2013). *Desafíos de las políticas públicas de gestión de residuos orgánicos en Chile para fomentar su reutilización en sistemas degradados* (Vol. 8).
2. Arévalo, P. (2015). *“Puesta en marcha y operación de un biodigestor anaerobio construido en base a Ecodiseño para tratar deyecciones bovinas”*. Universidad Técnica Federico Santa María, Valparaíso, Chile.
3. CIFES & MINENERGIA (2015). *¿Qué es el Biogás?*
4. Davis, M., Masten, S. (2005). *Ingeniería y ciencias ambientales*. McGraw-Hill. México.
5. Giz. (2012). *Guía de Planificación para Proyectos de Biogás en Chile*.
6. Giz, BMZ & PGAUI México. (2010). *Guía sobre el Biogás: Desde la producción hasta el uso*.
7. IDAE. (2007). *Biomasa: Digestión Anaerobia. Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía*. Madrid, España.
8. Metcalf & Eddy, (1995). *Ingeniería de aguas residuales: tratamiento, vertido y reutilización*. McGraw-Hill. España.
9. MINENERGÍA & Giz. (2012). *Guía de Planificación para Proyectos en Chile*.
10. MMA. (2012). *Informe del estado del medio ambiente*. In.
11. MMA. (2016). *Informe del estado del medio ambiente*. In.
12. Montalvo, S., Guerrero, L. (2003). *Tratamiento Anaerobio de Residuos: Producción de Biogás*. Universidad Técnica Federico Santa María. Chile.
13. Varnero Moreno, M. T. (2011). *Manual de Biogás*.

## 2.5.9 Ecoeficiencia en el uso de la escoria de acero como sustituto de materia prima en la cerámica tradicional.

**José Leandro Mendoza Cuenca** <sup>(1)</sup>

Diseñador Industrial, Técnico Ceramista, Candidato a Doctor en Diseño, Técnico Académico de Tiempo Completo en Cerámica y Vidrio en la Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Xochimilco.

**Dirección (1):** Privada Parque de Naranjos Casa 4 - Residencial Foresta – Metepec - Estado de México – Código Postal – 52143 – México – Tel.: (+521) 722-5314905 – e-mail: [leandro\\_mc@yahoo.com](mailto:leandro_mc@yahoo.com)

### RESUMEN

El texto del resumen utilizará la fuente Arial, Tamaño 10, alineación de párrafo justificado, sin Sangrías a la derecha o a la izquierda y **sin espacio entre líneas**. El resumen no excederá las 25 (veinticinco) líneas.

**Palabras claves:** Escoria de acero, Cerámica, Método simplex, Ciclo de vida, Df(X)

### INTRODUCCIÓN

La creciente necesidad de reciclar los desechos producidos por las diferentes ramas industriales ha logrado que algunos residuos despierten el interés científico, tal el caso de aquellos ricos en sílice, ceniza volante y escorias de alto horno EAH, para la elaboración de productos vitrocerámicos alternativos. En México, la industria de la cerámica hace uso de las siguientes materias primas para la formulación de compuestos cerámicos: arcilla, sílice, carbonato de calcio, caolín y feldespato, la cantidad de uso en la fórmula del compuesto cerámico se determina por su temperatura de sinterización, el proceso de producción y el tipo de objeto que se fabrica. Por esta razón, un compuesto cerámico para la industria de baldosas y azulejos no será el mismo que para la fabricación de vajillas o la industria de los sanitarios.

La cerámica en México tiene a lo largo de su historia la necesidad de desarrollar investigaciones que puedan aportar mejoras continuas en los procesos industriales de productos para la industria de la construcción, tan solo mencionando la formulación de compuestos y esmaltes cerámicos con materias primas tradicionales no hay una sola investigación al respecto, sin embargo, existe la evidencia de que se empiezan a incorporar residuos industriales de la industria del acero, tal es el caso de la investigación desarrollada por Osuna; Alarcón Juan Genaro, en la Facultad de Ciencias Químicas de la Universidad Autónoma de Coahuila, en esta investigación se utiliza la escoria de acero con el objetivo de encontrar un compuesto cerámico para la producción de baldosas para la industria de la construcción (Osuna, 2009).

El trabajo que aquí se desarrolla y presenta, es resultado de la investigación de mis estudios de Doctorado en Diseño, en la que se ha utilizado un residuo industrial proveniente de la producción del acero, la escoria de acero de horno eléctrico. Con este residuo industrial se busca sustituir un porcentaje de las materias primas tradicionales para la producción de objetos para la industria de la construcción.

#### La cerámica

En la cerámica tradicional, los materiales se clasifican en:

Materiales Plásticos	Materiales no plásticos	Materiales refractarios	Fundentes	Formadores de vidrio	Óxidos Colorantes
Arcillas	Sílice	Caolín	Feldespato	Sílice	Cobalto

<b>Caolines</b>	Feldespato	Alúmina	Plomo		Cobre
	Talco		Boro		Cromo
	Calcio		Zinc		Hierro
	Alúmina				Manganeso

**Tabla 1: Clasificación de las materias primas en la cerámica tradicional. Elaboración propia.**

Las características más importantes en un compuesto cerámico son las siguientes:

**Plasticidad:** Es la más importante, con excelente plasticidad se pueden fabricar mediante cualquier proceso industrial objetos funcionales o utilitarios en cerámica, ya sea desde baja, media o alta temperatura. La plasticidad se determina por el tipo de arcilla y el tamaño de la partícula, mientras más partículas pequeñas se tienen, es mayor la plasticidad de cualquier compuesto cerámico, a nivel industrial, los compuestos cerámicos se formulan con materias primas a malla 200 hasta 325.

**Encogimiento:** En la cerámica tradicional, se presentan dos tipos de encogimiento, al secado natural de las piezas y en el sinterizado de las mismas después de ser sometidas a su temperatura de fusión, desde baja hasta alta temperatura se presenta, pudiendo variar a partir del tamaño de la partícula y la vitrificación del compuesto cerámico después de la sinterización. El porcentaje al secado está en un promedio de 6% a 8%, y el encogimiento al sinterizado en baja temperatura está en un promedio final del 8% al 10%, en media temperatura es de un 10% hasta un 13% y en alta temperatura se tiene desde un 12% hasta un 18%.

**Porosidad:** La porosidad está determinada también por la influencia del tamaño de la partícula y de la temperatura de sinterización, mientras mayores sean menor porosidad se tiene en las piezas de cerámica. La cerámica de baja temperatura puede tener un rango de porosidad entre el 8% al 14%, en media temperatura este rango es del 4% al 10%, y en alta temperatura este rango puede presentarse del 4% al 2%, la porcelana de alta temperatura es el único compuesto cerámico con porosidad del 0%

**Vitrificación:** Es una característica de la cerámica que se correlaciona directamente con varios factores, el tamaño de partícula de las materias primas del compuesto cerámico, mientras más pequeñas sean las partículas y exista un mayor porcentaje de arcillas, la temperatura de sinterización del compuesto cerámico es otro factor, a mayor temperatura mayor vitrificación. Otro factor es una menor presencia de materiales refractarios que mejora la vitrificación, al igual que la presencia de fundentes como el feldespato, sin embargo, una gran cantidad de sílice en un compuesto cerámico en un rango de temperatura de los 1050°C a los 1150°C disminuye la vitrificación.

No siempre una mayor vitrificación nos permite tener una cerámica resistente a la deformación por el calor de la sinterización. En este concepto, entra la participación del porcentaje de óxido de hierro que pueden tener las arcillas rojas, el análisis químico de las arcillas nos dan un indicio de su posible resistencia a la temperatura de sinterización, un porcentaje superior al 6% nos dice que esa arcilla puede no resistir la temperatura, el óxido de hierro a temperaturas superiores a los 1000°C se comporta como un fundente, de tal forma, que vitrificaría de forma excelente, pero no así su resistencia a la deformación por la temperatura de sinterización.

## La escoria de acero

En México, la Cámara Nacional del Acero (Canacero), en el Instrumento Técnico Normativo CVSC-ITN02-2003 establece que las escorias de acero son consideradas como residuos no peligrosos, por lo que pueden ser reutilizadas en: la fabricación de cemento y agregados de concreto, como base para la pavimentación de caminos y autopistas, acondicionamiento de suelos, entre otras. No se menciona que estas también pueden ser utilizadas en la formulación de compuestos cerámicos como un alúmino-silicato. En el año 2005, la Canacero, informa que en México la producción fue de 16.2 millones de toneladas de acero, y una producción de escoria de 4.05 millones de toneladas. En el reporte de 2017, se señala que la industria del acero en México 820 mil toneladas de escoria se han utilizado en la producción de cemento, así como en actividades relacionadas a la industria de la construcción (Canacero, 2017), sin detallar cuáles son esas actividades.

En esta investigación se utilizará la escoria de horno eléctrico, para sustituir al caolín EPK, se hizo un análisis de tamaño de partícula tanto a la escoria no neutralizada como a la escoria neutralizada, previamente al tamizado se recolectaron con un imán y separaron las rebabas de acero en cada una de las muestras, para solamente tener las partículas sinterizadas de la EAH, con los siguientes resultados:

### Escoria de Alto Horno no neutralizada

Número de Malla	% de granulometría	Peso en grs.
< 100	6.6	32.8
100	22.6	112.8
200	23.8	119.2
325	43.4	216.8
Rebabas de Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3.0	14.8
Ppt (pérdidas por trabajo)	0.7	3.6
TOTAL	100	500

**Tabla 2: Porcentajes por tamaño de partícula en la escoria de arco eléctrico no neutralizada. Elaboración propia.**

Número de Malla	% de granulometría	Peso en grs.
< 100	10.2	50.8
100	32.8	164.0
200	29.2	145.8
325	26.5	132.6
Rebabas de Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1.0	5.0

Ppt (pérdidas por trabajo)	0.4	1.8
TOTAL	100	500

**Tabla 3: Porcentajes por tamaño de partícula en la escoria de arco eléctrico neutralizada. Elaboración propia.**

Como se puede observar el tamaño de la partícula de la escoria de acero tal cual se obtiene del proceso de la industria del acero por un simple proceso de tamizado en seco y un proceso de recolección de rebaba de acero por medio de imanes no es un problema para ser utilizada en el proceso productivo de la cerámica tradicional y poder así sustituir al caolín.

Un comparativo de análisis químico de la escoria de acero y el caolín EPK nos determina diferencias significativas (Tabla 4), la más importante es el alto porcentaje de óxido de calcio en la escoria de acero, lo cual determinó que la escoria tuviera que ser neutralizada después de una primera fase experimental, abriendo una interesante oportunidad para un subproducto que se obtuvo en este proceso.

Material	Caolin EPK	Escoria de Acero
	%	%
SiO <sub>2</sub>	47.46	34.2
CaO	0.22	36.5
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	35.96	10.5
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.54	0.44
BaO	-	5.31
MgO	0.05	2.45
MnO	0.01	6.24
TiO <sub>2</sub>	0.01	0.72
Na <sub>2</sub> O	0.01	1.84
K <sub>2</sub> O	2.09	0.71
SO <sub>3</sub>	0.15	0.01
S <sup>2-</sup>	-	0.95
PPI <sup>a</sup>	12.52	-0.98
Total	99.01	99.2

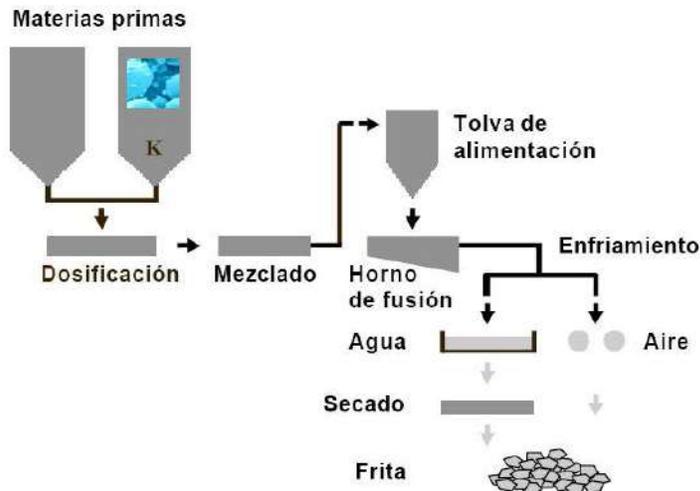
<sup>a</sup> PPI Pérdidas por ignición, se refiere a la presencia de materia orgánica

**Tabla 4: Análisis químico de la escoria de acero y el caolín EPK. Fuente (Mostafá, et al. 2010).**

El alto porcentaje de CaO, hasta un 36%, que tiene la EAH es un dato importante para la propuesta de formar un esmalte cerámico de media temperatura a 1,150° C, bien puede ser que se obtenga un esmalte transparente, con una baja viscosidad, y un brillo notable como resultado de una excelente tensión superficial.

#### Los esmaltes cerámicos de media temperatura

Los esmaltes cerámicos de media temperatura se les conoce como esmaltes de fritada, nombrados así, porque en la fórmula del esmalte, existen componentes solubles en agua, por lo cual es necesario realizar un proceso industrial con una elevada huella de consumo de energía.



**Figura 1: Proceso de producción de una frita de esmalte cerámico. Fuente: [http://www.construmatica.com/construpedia/Proceso\\_de\\_Fabricaci%C3%B3n\\_de\\_Baldosas\\_Cer%C3%A1micas0000](http://www.construmatica.com/construpedia/Proceso_de_Fabricaci%C3%B3n_de_Baldosas_Cer%C3%A1micas0000)**

Los materiales son depositados en un crisol para elevar su temperatura hasta un rango de 1,350°C, en esta temperatura los materiales adquieren una característica igual a la del vidrio, con esas condiciones se vierte el crisol en agua para provocar un choque térmico y obtener pedazos de vidrio, que deberán de ser molidos en una molienda húmeda dentro de un molino de bolas de porcelana o de alta alúmina para no contaminar la fórmula. Una vez que se tiene la granulometría de malla 200, el esmalte deberá de ser secado utilizando energía eléctrica o gas, para finalmente empacarse en costales para su venta a los talleres de los ceramistas.

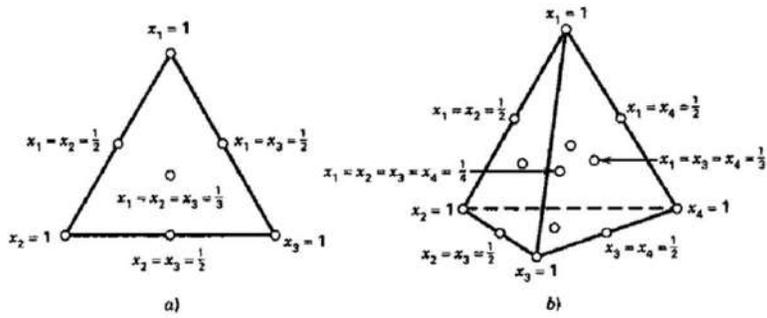
Aún y cuando se han estado investigando desde hace algunos años la sustitución del plomo como uno de los fundentes en estos esmaltes, no ha sido posible del todo, pues el brillo superficial que otorga el plomo en los esmaltes cerámicos no se ha encontrado con características iguales al utilizar el boro o bórax como sustituto del plomo (Hald, 1977).

### Objetivo general

- 1.- Comprobar que la escoria de acero puede ser utilizada como un sustituto de materia prima para la formulación de un compuesto cerámico sinterizado a 1,150°C, sin alterar los procesos productivos tradicionales de losetas cerámicas.
- 2.- Obtener una fórmula de un esmalte cerámico libre de plomo que será utilizado en el compuesto cerámico obtenido, sinterizado a la misma temperatura de 1,150°C.

### Metodología

Para la prueba de experimentos del compuesto cerámico como del esmalte de media temperatura, se utilizó el método simplex, tal y como se explica en la siguiente figura 2:



**Figura 2: Método símplex. Fuente Montgomery (2004).**

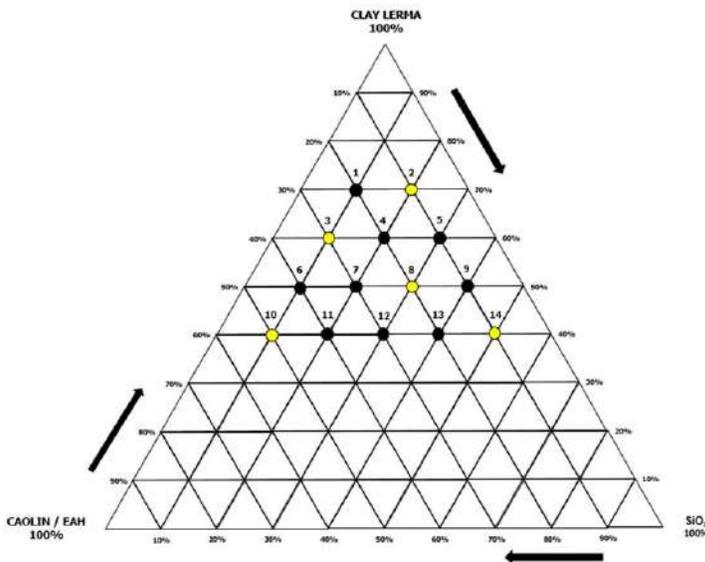
Para el primer objetivo la formulación de un compuesto cerámico, se realizaron dos investigaciones, la primera denominada Prueba Testigo (PT), con las materias primas tradicionales para la fabricación de losetas cerámicas, y la segunda denominada Prueba con Escoria (PCE), en esta solo se sustituye el caolín por la escoria de acero, ambas se sinterizaron a 1,150°C, se realizaron mediciones de plasticidad, engomamiento al secado, al sinterizado, porosidad, resistencia a la flexión y a la compresión.

Se realizaron en ambas pruebas PT y PCE, estudios de caracterización:

- a) Difracción de rayos X para obtener los diagramas de fases en cada uno de los 14 puntos de cada prueba.
- b) Estudios con microscopio electrónico de barrido, para observar las fases cristalinas de cada compuesto cerámico, así como la porosidad de cada punto de prueba.

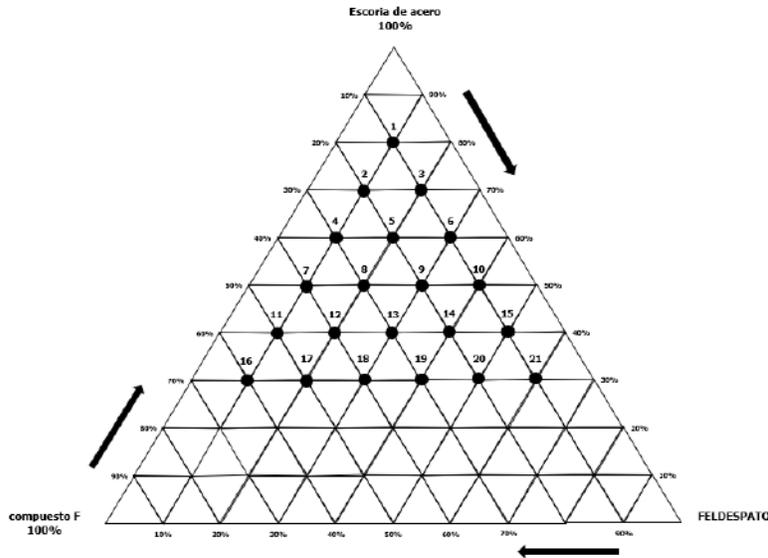
Para la investigación del esmalte cerámico, esta se realizó a partir de la selección del compuesto cerámico de la PCE, se utilizaron tres materiales tradicionales y la escoria de acero, fue una investigación de 21 formulas, ninguno de estos materiales es soluble en agua.

La investigación del compuesto cerámico determinó la elaboración de 14 formulaciones, tanto para la prueba de muestras testigo como para la prueba de sustitución con escoria, en la siguiente figura 3 podemos observar como se establecen las combinaciones de materiales para cada prueba.



**Figura 3: Triángulo triaxial, diseño de pruebas experimentales, las pruebas testigo tendrán caolín EPK, mismo que será sustituido por la escoria de horno eléctrico, sinterizadas a 1,150°C. Elaboración propia.**

Para la investigación del esmalte cerámico de media temperatura se establecieron tres materiales para la combinación de 21 fórmulas, estas pruebas se realizaron pesando 20 gramos de cada una y aplicando el esmalte en una probeta de prueba formulada con el compuesto cerámico número 4, que incluye en su fórmula la escoria de acero, esta fórmula es 60% de arcilla de Lerma, 20% de sílice y 20% de escoria de acero, en la siguiente figura podemos observar la combinación e materiales:



**Figura 4: Triángulo triaxial, diseño de pruebas experimentales, pruebas de esmalte cerámico de media temperatura sinterizado a 1,150°C. Elaboración propia.**

**Discusión de resultados**

En la formulación de los compuestos cerámicos de cada uno de los 14 puntos de la prueba testigo, los resultados de plasticidad, encogimiento al secado, al sinterizado y de porosidad estuvieron dentro de lo esperado, en contraparte, los resultados en los 14 compuestos cerámicos de la prueba con escoria de acero, se vieron alterados, aumentando la porosidad, disminuyen los valores de encogimiento al secado y sinterizado, así como el dato más importante, la pérdida de plasticidad, como resultado de que la escoria de acero no tiene la propiedad más importante del caolín, la plasticidad, en la siguiente tabla 5 podemos ver los resultados

El punto seleccionado es el N4, su formula es 60% de arcilla de Lerma, 20% de sílice y 20% de escoria de arco eléctrico.

Prueba de Control				Prueba NO NEUTRALIZADA EAH				Prueba NEUTRALIZADA EAH						
Código	Plasticidad	Encogimiento %		Porosidad (%)	Código	Plasticidad	Encogimiento %		Porosidad (%)	Código	Plasticidad	Encogimiento %		Porosidad (%)
		Secado	Sinterizado				Secado	Sinterizado				Secado	Sinterizado	
TM1	Excelente	7	13	11	G1	Buena	5	10	25.5	N1	Buena	5	9	24.1
TM2	Excelente	6	11	12.7	G2	Buena	5	9	23.4	N2	Buena	5	9	20.2
TM3	Excelente	6	13	9.4	G3	Mediana	4	5	29.1	N3	Buena	3	6	28.4
TM4	Excelente	5.7	11	13.5	G4	Mediana	4	6	25.2	N4	Mediana	4	7	24.9
TM5	Excelente	5	9	13.6	G5	Pobre	4	7	26.2	N5	Mediana	4	7	23.9
TM6	Excelente	6	11	13	G6	Pobre	2	4	29.8	N6	Pobre	3	5	28.6
TM7	Excelente	6	10	11.8	G7	Pobre	3	5	28.8	N7	Pobre	3	5	27.1
TM8	Buena	5	8	15	G8	Nula	3	5	27.8	N8	Pobre	3	5	26.5
TM9	Buena	5.3	5.3	16.9	G9	Nula	2	6	26.5	N9	Nula	3.3	5	24.5
TM10	Excelente	5	11	12.4	G10	Nula	2	3.5	33.5	N10	Nula	2	4	31.9
TM11	Excelente	5	10	14.6	G11	Nula	2	4	33.1	N11	Nula	2	5	30.6
TM12	Buena	5	8	15.7	G12	Nula	2	3	31.5	N12	Nula	2	4	28.2
TM13	Mediana	5	7	16.4	G13	Nula	2	3	31.8	N13	Nula	2	3	28.7
TM14	Mediana	4.7	6	17.2	G14	Nula	2	3	30.1	N14	Nula	2	4	26.4

**Tabla 5: Resultados de plasticidad, encogimiento al secado y sinterizado, así como de la porosidad para cada compuesto cerámico de las pruebas experimentales sinterizadas a 1,150°C. Elaboración propia.**

Se ha determinado como resultado de esta investigación, que la escoria de acero puede ser un buen sustituto del caolín, considerando que existe una pérdida de plasticidad en el compuesto cerámico, será necesario que la arcilla con la que se combine aporte una excelente plasticidad, por lo tanto, solamente se recomienda que este compuesto cerámico N4 sea utilizado en los procesos de extrusión y por medio de prensa ram, para la fabricación de baldosas, tejas y tabiques

En la investigación del esmalte cerámico de media temperatura libre de plomo lo más relevante es que se obtuvo una fórmula que no necesita ser llevada al proceso industrial de esmalte de fritada, pues ninguno de sus componentes es soluble en agua, por lo tanto, la huella de consumo energético será mucho menor que la del proceso de fritada, por lo tanto puede usar directamente por el ceramista como un esmalte crudo, es decir, que tan solo es necesario pesar los materiales de la fórmula y agregar agua para poder esmaltar cualquier producto de cerámica de media temperatura.

Los resultados obtenidos nos permiten comprender que al tener una mayor presencia de escoria de acero en los primeros seis puntos el esmalte no tiene transparencia, hay una presencia de cristales que le dan opacidad al esmalte y se dispersan entre sí, el compuesto de fundentes no tiene la capacidad de modificar el punto eutéctico aún con la participación del feldespato potásico.

A medida que el porcentaje de escoria de acero disminuye y se tiene una alta presencia del compuesto de fundentes, presentándose las mejores condiciones de brillo, tensión superficial y viscosidad en los puntos del 16 al 18, como se pueden observar en la siguiente imagen:



**Figura 5: Probetas de esmalte de los puntos de izquierda a derecha 16, 17 y 18. Fotografía del autor.**

Puede decirse que utilizar la EAH con caolín EPK para facilitar la flotabilidad de las partículas de los materiales, es relevante en los rangos del 30%, utilizar el compuesto de fundentes en el rango del 60% al 40%, y utilizar el feldespato sódico en los rangos del 10% al 70%.

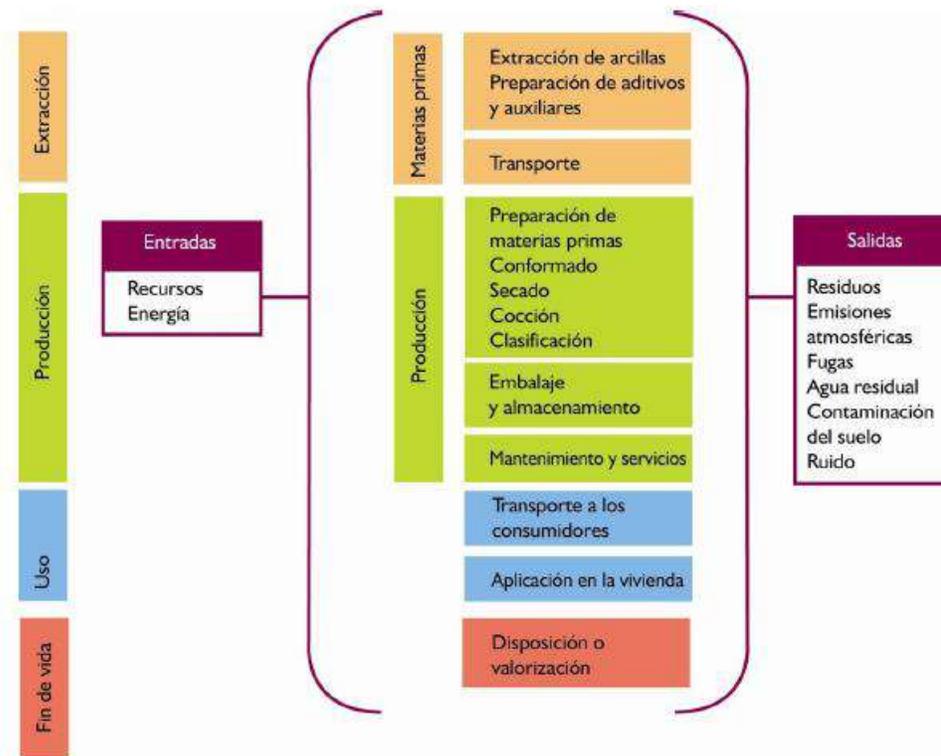
### **Análisis Ambiental**

La producción de objetos cerámicos tiene una determinación en su ciclo de vida que relativamente poco puede variar a lo largo del tiempo, en la investigación realizada con la escoria de arco eléctrico, que demuestra que se pueden formular compuestos cerámicos de media temperatura, así como un esmalte libre de plomo, sinterizados a 1,150°C,

En la etapa de investigación, surge un problema que parecía indicar que no era posible utilizar la escoria como sustituto del caolín, la alta presencia de óxido de calcio al combinarse con el agua para la realización de las probetas de investigación, reaccionaba de tal forma que se presentaba una reacción química que imposibilitaba la manufactura de las probetas y que hacía imposible determinar con certeza la plasticidad de los compuestos cerámicos con la escoria de acero.

Esta situación rara vez se presenta en el uso de materias primas tradicionales en la cerámica, la cerámica cálcica de media temperatura determina que la máxima cantidad de carbonato de calcio que se puede agregar a un compuesto cerámico es de 8 a 10% (Hald, 1977). El carbonato de calcio funciona como un modificador del punto eutéctico a temperaturas de los 1,050 a los 1,150°C, y una mayor cantidad provoca la pérdida de plasticidad y la presencia de burbujas de aire en el cuerpo cerámico, por consiguiente, problemas de producción y muchas pérdidas económicas para el ceramista

Considerando entonces la importancia del ciclo de vida como lo menciona Almeida (2010), en los productos cerámicos, la incidencia de realizar investigaciones que aporten nuevos materiales en los procesos de conformado de piezas, así como en el esmalte, sin alterar los procesos ya establecidos de producción y quizás con notables mejorías, como el uso de esmaltes de media temperatura sin ser procesas mediante una frita.



**Figura 6. Fases del ciclo de vida para el producto cerámico. Fuente: InEDIC, 2011 de Almeida, 2010.**

### Ecoeficiencia

Este principio establece objetivos orientados a mejorar el aprovechamiento de los recursos y a la reducción de la contaminación a lo largo del ciclo de vida de los productos sin descuidar cualidades técnicas y económicas (Capuz, 2004).

La ecoeficiencia bien puede medirse por la siguiente escala de valor (García Parra, 2008):

$$\text{Ecoeficiencia} = \text{Valor del producto} / \text{Impacto ambiental}$$

Compete a hora continuar esta investigación con la técnica denominada DfX, un método que me permitirá determinar y resolver un problema específico a partir de los factores que influyen en cada una de las etapas del ciclo de vida.

DfM Diseño para la Manufactura	DfE Diseño para el Medio Ambiente	DfS Diseño para la Seguridad
<b>Compuestos cerámicos con escoria de acero para media temperatura, 1,150°C.</b>	El subproducto obtenido en la investigación y que puede ser usado en la limpieza de aguas residuales.	Formulación de esmaltes cerámicos de media temperatura libres de plomo.

Costos beneficio.

Tabla 6: Técnicas de DfX para determinar la importancia dentro de la ecoeficiencia en el ciclo de vida del uso de la escoria de acero como sustituto de materia prima. Elaboración propia.

## EL PRINCIPIO DE ECOEFICIENCIA APLICADO EN EL DISEÑO



Figura 7: Resultados de la investigación con escoria de acero de arco eléctrico. Elaboración propia.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. CAPUZ RIZO, SALVADOR. (2004) Ecodiseño. Ingeniería del ciclo de vida para el desarrollo de productos sostenibles. México, Alfaomega.
2. [canacero.org.mx/Es/assets/folleto\\_siderurgia\\_y-desarrollo\\_sustentable\\_web\\_2017.pdf](http://canacero.org.mx/Es/assets/folleto_siderurgia_y-desarrollo_sustentable_web_2017.pdf)
3. GARCIA PARRA, BRENDA. (2008) Ecodiseño, nueva herramienta para la sustentabilidad. México, Designio.
4. MONTGOMERY, C. DOUGLAS. (2004). Diseño de Experimentos. México, Editorial Limusa Wiley.
5. MOSTAFA, NASSER Y. (2010). Sintering mechanism of blast furnace slag-kaolin ceramics. *Materials and Design*, No. 31 (2010), p. 3618.
6. OSUNA, ALARCÓN JUAN GENARO. (2009). Reciclado de escoria de alto horno para la producción de loseta vitrocerámica. U. A. de C. Facultad de Ciencias Químicas, Depto. Cerámica, Blvd. V. Carranza y J. Cárdenas Valdés s/n, 25280, Saltillo, Coah., Méx.
7. PEDER, HALD. (1977). *Técnica de la cerámica*, Tercera edición, Barcelona, Ediciones Omega S. A.

## 2.5.10 Evaluación de impactos ambientales asociados a la valorización del rastrojo de maíz para la fabricación de un eco-panel aislante a través del ACV.

### Luis Fernando Rivera Baez

Ingeniero ambiental egresado de la Facultad de Ciencias Químicas de la Universidad Veracruzana región Xalapa.

### Mario Rafael Giraldi Díaz

Profesor e investigador de tiempo completo de la Facultad de Ciencias Químicas de la Universidad Veracruzana región Xalapa.

### Eduardo Castillo González

Director de la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Veracruzana región Xalapa.

### Lorena De Medina Salas

Profesora de tiempo completo de la Facultad de Ciencias Químicas de la Universidad Veracruzana región Xalapa.

**Dirección:** Circuito Gonzalo Aguirre Beltrán s/n. Zona Universitaria, C.P. 91040, Xalapa, Veracruz, México. Tel.: (+52) 228-1050654 – e-mail: lfrivera29@gmail.com

## RESUMEN

El uso de materias primas residuales provenientes de la actividad industrial para su reincorporación en la fabricación de nuevos productos comerciales atrae consigo beneficios como la reducción de impactos ambientales como la disminución de la huella de carbono o la huella energética. Los residuos lignocelulosos generados en grandes cantidades por las actividades agroindustriales son altamente aprovechables, por sus características físicas y disponibilidad. Una de esas fibras es el rastrojo de maíz. Esta investigación utilizó la herramienta de análisis de ciclo de vida (ACV) para analizar los impactos ambientales asociados a la generación del rastrojo de maíz (*Zea mays*) y a una ruta de valor agregado referida a la fabricación de un eco-panel aislante para la construcción de viviendas. Las categorías de impacto seleccionadas fueron: huella energética, huella de carbono, huella hídrica, agotamiento de recursos minerales, agotamiento de recursos fósiles, toxicidad humana y eco-toxicidad. Las etapas evaluadas son: (i) cultivo y (ii) fabricación del eco-panel. Los resultados fueron obtenidos a través del software especializado SimaPro® y mostraron un consumo energético total de 148 MJ/m<sup>2</sup> y una huella de carbono de 2.84 de CO<sub>2</sub>.

**Palabras clave:** Rastrojo de maíz, ACV, panel aislante, impacto ambiental

## INTRODUCCIÓN

El crecimiento de la población ha ocasionado una gran demanda de insumos alimenticios, uno de ellos es el maíz. De acuerdo con la información proporcionada por la FAO (2017), la superficie mundial de maíz sembrada para la temporada 2014/2015 fue de 1,848,009,69 ha, generando una cantidad aproximada de 1,200 millones de toneladas de rastrojo, un residuo poco valorado actualmente. La USDA (2017) reporta a EUA como el país con mayor producción de maíz a nivel internacional, con un 41% de su producción destinado a bioenergía y con otro 26% para el forraje de ganado, siendo esos los usos más comunes para el rastrojo.

En muchos países la quema de residuos agrícolas continúa siendo la forma más fácil y económica de deshacer o reducir las cantidades de biomasa remanentes de la obtención del maíz. La Comisión para la Cooperación Ambiental (CCA) (2014) afirma que los problemas asociados a la quema de residuos son: (i) alta contribución al cambio climático por la generación de gases de efecto invernadero (GEI), (ii) el humo generado es liberado generalmente en zonas abiertas, lo cual conlleva a una exposición directa y elevada de contaminantes a la población aledaña y (iii) son fuentes no puntuales de contaminantes atmosféricos, por lo que resulta difícil medir y regular las emisiones. A lo dicho anteriormente se le añade el hecho de que muchos productores carecen de

interés por gestionar sus residuos, a razón del desconocimiento de rutas de reciclaje o por cuestiones económicas.

Los materiales agrícolas-forestales han sido utilizados como bio-materiales para la fabricación de combustibles, químicos, materiales y otros productos industriales, los cuales han adquirido el nombre de productos “bio-basados”. Diversas investigaciones han mostrado que los productos bio-basados son capaces de disminuir el consumo de combustibles fósiles y la emisión de gases de efecto invernadero. La agricultura sustentable es un factor clave para mejorar el rendimiento ambiental de los productos bio-basados (Seungdo *et al.*, 2009).

El rastrojo de maíz es un material mayormente compuesto por lignocelulosa, lo cual lo hace atractivo para ser utilizado como materia prima en diferentes cadenas productivas. (Aden *et al.*, 2002). Diversos investigadores han realizado análisis de ciclo de vida referentes a la cadena productiva del maíz y sus rastrojos, basándose principalmente en cuantificar los impactos ambientales asociados a su producción. Son escasas las investigaciones de ACV referentes a la valoración del rastrojo de maíz. A continuación, se mencionan algunos antecedentes del proyecto.

Existe una gran diversidad literaria y en creciente actividad que relaciona el manejo de los rastrojos con la calidad del suelo y del aire, así como su aprovechamiento para el forraje de animales de ganado, entre otros. Los rastrojos son un producto secundario de la producción agrícola del maíz que se han convertido en un factor crucial para la adopción de innovaciones tecnológicas. En México, el mayor volumen de rastrojos se obtiene a través de la asociación directa de la producción de granos, por lo que, de acuerdo con la cantidad de granos producidos para satisfacer la demanda alimenticia de la población, aumentará la disponibilidad de residuos (Reyes-Muro *et al.*, 2013).

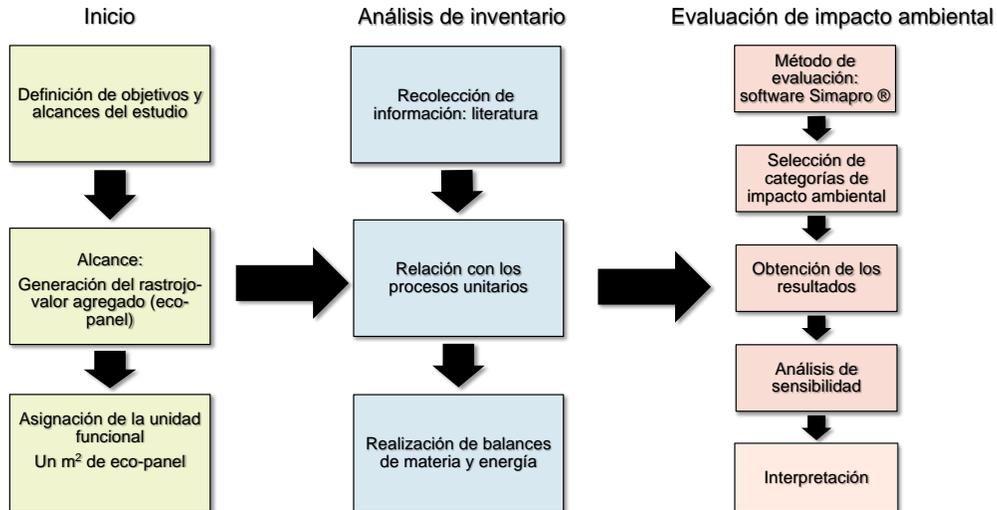
Silvestre *et al.*, (2014) presenta un panel aislante fabricado a partir de corcho proveniente de arboles de roble, de tal manera que este autor promueve el reciclaje de residuos agrícolas para disminuir los consumos energéticos, emisiones de gases y costos económicos asociados a la fabricación y consumo de nuevos materiales bio-basados.

Sierra-Pérez *et al.*, (2016) presenta un análisis de ciclo de vida utilizando la frontera “de puerta a puerta” que estudia paneles aislantes aglomerados fabricados a partir de corcho y residuos forestales, dando apertura al uso de materiales no convencionales a fin de proponer soluciones técnicas en la reducción de impactos asociados al sector de la construcción.

El desarrollo de la tecnología ha traído al ser humano poderosas herramientas que permiten estudiar y analizar los procesos de transformación de materias primas, la energía, manufactura y la generación de residuos. Consecuentemente se ha creado la metodología de análisis de ciclo de vida (ACV) la cual se asocia directamente con el interés de analizar los flujos de materiales, la valoración energética y la gestión de residuos de cualquier proceso ya o no establecido (NMX-SAA-14040-IMNC, 2008).

## **MATERIALES Y MÉTODOS**

La metodología utilizada por el análisis de ciclo de vida se basa en los estándares estipulados por la ISO 14040 e ISO 14044, su equivalente en México es la NMX-SAA-14044-IMNC-2008, gestión ambiental- análisis de ciclo de vida- requisitos y directrices. También se toman las referencias proporcionadas por Guinee (2004) y las guías provenientes de la United States Environmental Protection Agency (USEPA, 2006). La descripción de la metodología se basa en Giraldi (2015) a través de una estructura de análisis de atribución, se contemplan las siguientes fases: (i) fase de inicio, (ii) inventario de ciclo de vida (ICV) y (iii) evaluación de impacto del ciclo de vida (EICV). (Figura 1).



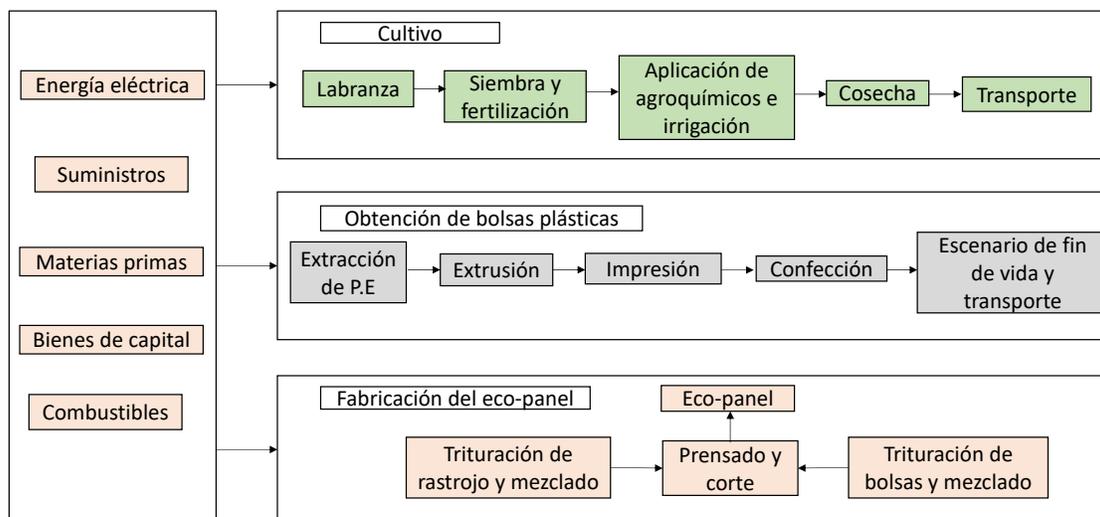
**Figura 1. Desarrollo del análisis de ciclo de vida (ACV) (Elaboración propia basado en Giraldi, 2015).**

### Fase de inicio

El alcance de este estudio fue: cuantificar la huella de carbono, energética e hídrica asociadas a la valorización del residuo rastrojo de maíz para la fabricación de un eco-panel aislante para la construcción de viviendas. Se hizo un análisis de sensibilidad para comparar los resultados del caso inicial con escenarios alternativos modificando algunas de las variables del proceso.

La unidad funcional (UF) fue definida como 1 m<sup>2</sup> de eco-panel. Los límites del sistema fueron establecidos “de la cuna a la puerta” (cradle to gate), que incluye desde la parte agrícola hasta la fabricación del eco-panel. El fin de vida del producto no fue incluido, debido a la escasez de información local respecto a su uso y consumo.

Los criterios para la elaboración y cuantificación del ICV se siguieron las etapas de: (i) cultivo y (ii) fabricación del eco-panel. Como parte complementaria al producto se estudiaron los procesos de generación de bolsas de plástico de polietileno, ya que es otro insumo que integra el eco-panel. El transporte y los bienes de capital que incluye a la maquinaria necesaria en los procesos fueron consideradas en el inventario. Los procesos unitarios se hicieron lo más detallado posible, y las asignaciones de cargas ambientales se establecieron de acuerdo a una casualidad económica, se descartaron las asignaciones por masa y energéticas.



**Figura 2. Etapas del sistema de valorización del rastrojo de maíz. (Fuente: Elaboración propia)**

Este estudio dio prioridad a los datos de campo recopilados directamente con productores agrícolas, experimentación a escala piloto, información empresarial y proveedores de maquinaria especializada para los bienes de capital. En los casos donde no se encontró la información necesaria de las fuentes mencionadas anteriormente se recurrió a fuentes de literatura especializada, de local a internacional, en ese orden de prioridad. Cuando un dato no estaba disponible en información de campo ni en fuentes especializadas de literatura, se utilizaron bases de datos internacionales como Ecoinvent®. La ubicación geográfica de la información fue priorizada en local, nacional e internacional. La temporalidad de la información de campo recopilada corresponde a 2 años, y la de la literatura consultada se consideró un periodo de 10 años. Los procedimientos de asignación de cargas ambientales para las salidas (productos y con-productos) se realizaron de acuerdo a la estipulado en la ISO 14044 (2006).

Respecto a la evaluación de impacto del ciclo de vida (EICV) y las implicaciones productivas del sistema son: (i) sustentabilidad energética, (ii) mitigación del cambio climático y (iii) gasto de agua en la etapa agrícola.

Las categorías de impacto evaluadas se presentan en la Tabla 1. Para completar la EICV se añadieron categorías de impacto adicionales para reforzar los resultados del análisis. La herramienta de software utilizada fue la interfaz SimaPro® (v.8.5; PRé Consultants B.V.-The Netherlands).

**Tabla 1. Categorías de impacto evaluadas en el ACV.**

Categoría de impacto	Indicador	Unidad	FCm	Abrev. Ingles	Unidad
<b>Huella de carbono</b>	Aumento de la fuerza de radiación infrarroja	wxyr/m <sup>2</sup>	Potencial de calentamiento global	GWP	kg CO <sup>2</sup> al aire
<b>Toxicidad humana</b>	Aumento del riesgo de incidencia de la enfermedad del cáncer	-	Potencial de toxicidad humana	HTPc	kg DCB al aire urbano

<b>Ecotoxicidad terrestre</b>	Aumento ponderado de riesgo en suelos naturales	yrxm <sup>2</sup>	Potencial de ecotoxicidad terrestre	TETP	kg 1,4-DCB al suelo
<b>Huella hídrica</b>	Agua consumida	m <sup>3</sup>	Potencial de consumo de agua	WCP	m <sup>3</sup> de agua
<b>Agotamiento de recursos minerales</b>	Disminución del grado mineral	kg	Potencial de mineral excedente	SOP	kg Cu
<b>Huella energética</b>	Demanda energética	MJ	Consumo de energía	CE	MJ eq.

Fuente: ReCipe (2016).

### Descripción del sistema

Esta investigación consiste en analizar los flujos de materia y energía involucrados en los procesos. Primero se inició con la identificación de materias primas para la obtención del eco-panel, desde la parte agrícola de generación de maíz, hasta el ensamblado del panel. El transporte de materias primas también fue contemplado, se determinó una distancia promedio de 100 km de desplazamiento. Las etapas analizadas se describen a continuación.

### Cultivo

Se consideró que un tractor realiza las operaciones de laboreo del suelo con una rastra de cuatro surcos previo a la siembra para la germinación de la semilla de maíz. En la siguiente operación se depositan las semillas en los surcos a través de una sembradora de disco giratorio que proporciona profundidad y distancia uniforme. Después un equipo con aspersores que posee contenedores que almacenan los fertilizantes químicos rocían el suelo (nitrógeno, fósforo y potasio) para mantener condiciones favorables para el crecimiento de la planta. Para la irrigación se consideró riego temporal y mecanizado que mantiene un promedio de 800 mm por año.

También se incluyó el uso de pesticidas para el control de plagas y malezas, se aplicó carbofurano, 2, 4-D y atrazina. El transporte de materias primas fue incluido y se consideró una ruta promedio de 100-km en un vehículo de carga de tres toneladas.

Una vez que la es la mazorca de maíz es cosechada el rastrojo restante se remueve con maquinaria para su disposición como residuo. El rendimiento de maíz considerado por hectárea es de 6000 kg, lo que representa 7200 kg de rastrojo generado.

### Proceso de fabricación del eco-panel

El eco-panel fue diseñado en colaboración con la empresa Green it Innovation Tech (2016). La pretensión del producto en el mercado es para el sector de la construcción y que cumpla la función de recubrimiento para pisos y paredes. Su composición consta de dos partes: (i) un panel de varias capas fabricado a partir de películas plásticas de polietileno proveniente de bolsas recicladas y (ii) un panel lignoceluloso elaborado a partir de fibras provenientes del rastrojo de maíz. Para unir los dos paneles se agrega silicón en cada una de las caras y es pegado de forma mecánica con una maquina de presión.

### Obtención de bolsas plásticas

Las materias primas son transportadas hasta el sitio en donde se encuentra la línea de producción de bolsas plásticas, lo tres equipos considerados son: (i) una extrusora de plásticos que forma la película plástica, (ii) una impresora flexográfica de 4 tintas que le proporciona diseño a las bolsas y (iii) una maquina de corte y confección que le confiere tamaño y funcionalidad. La estrategia de colecta se hizo a través de un escenario de fin de vida de las bolsas, en donde se asignaron porcentajes de disposición final, donde un 35 por ciento son utilizables. Para la recolección se

considero un vehículo con capacidad de 3.5 toneladas que recorre 100 km a centros de acopio y posteriormente a las instalaciones de fabricación del eco-panel.

### Panel plástico

El polietileno reciclado se selecciona para evitar etiquetas en las bolsas o material extraño, pasa a una aglutinadora con el fin de disminuir el tamaño de las películas o en caso de usar material virgen, el material no requiere de un proceso previo puesto que comercializa en forma de pellets. El material aglutinado alimenta la tolva del extrusor el cual debe tener características muy específicas para evitar la degradación del polietileno, inconsistencias y errores en el material. Las características del extrusor cruciales son: alcanzar la temperatura de fusión del material, tener la velocidad adecuada de rotación, poseer la proporción L: D (longitud: diámetro) correctas y poseer un dispositivo adecuado de venteo, el cual evitará burbujas en el material debido a la humedad que las materias primas pudieran absorber.

### Panel lignoceluloso

Una vez conseguida una fibra con las condiciones adecuadas de humedad y temperatura, se le añaden una serie de aditivos como el adhesivo, el endurecedor y la parafina, que tienen distintas funciones y son mezclados. Después se pasa la mezcla a la prensa, mediante la aplicación de presión y temperatura, se produce un tablero del ancho y espesor necesarios. A la salida se corta a las dimensiones adecuadas y los tableros resultantes se enfrían y pasan a un almacén intermedio hasta el ensamblado del eco-panel.

### Ensamble del eco-panel

El panel plástico y el lignoceluloso son unidos mediante el procedimiento presentado en la Figura 3 y también se muestra las operaciones posteriores para su instalación.

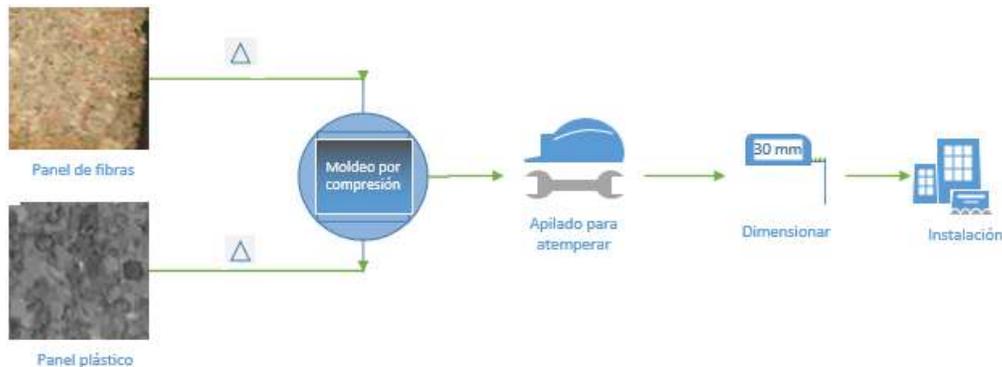


Figura 3. Ensamblaje del eco-panel (Fuente: Green it Innovation Tech, 2016).

Fotografías (Fuente: Green it Innovation Tech, 2016).

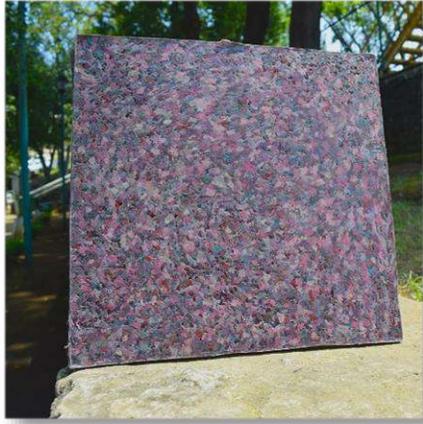


Figura 4



Figura 5

### Inventario de Ciclo de Vida (ICV)

El ICV de este estudio consideró los aspectos más importantes de las etapas evaluadas con el criterio de (i) variabilidad en la literatura y (ii) particularidad de equipos. Los valores se muestran en la Tabla 2.

**Tabla 2. Inventario de ciclo de vida para la obtención de 1 m<sup>2</sup> de eco-panel.**

Etapa	Material	Cantidad	Unidad
Cultivo	Agua	1.76E+02	kg
	Fertilizantes		
	Nitrógeno (N)	7.24E-04	kg
	Fósforo (P)	6.97E-05	kg
	Potasio (K)	8.04E-05	kg
	Pesticidas	3.1322E-03	kg
	Transporte de insumos	0.051	Ton Km
	Diesel	0.3965E+00	
	Energía eléctrica	1.67E-03	kWh

<b>Obtención de bolsas</b>	Semillas de maíz	3.22E-03	kg
	Polietileno AD y BD	1.24E+00	kg
	Energía eléctrica	1.7142+00	kWh
	Transporte de insumos	0.023	Ton Km
<b>Fabricación del eco-panel</b>	Rastrojo	15E+00	kg
	Bolsas plásticas	10.5+00	kg
	Energía eléctrica	3.51E-04	kWh
	Transporte de insumos	0.7670	Ton Km

Fuente: Elaboración propia.

### DISCUSIÓN Y RESULTADOS

En la Tabla 3 se presentan los resultados obtenidos en la evaluación de impacto ambiental de la producción global del eco-panel, las categorías de impacto también se enlistan. La nomenclatura es la siguiente: H.C.= huella de carbono, T.H.= toxicidad humana, E.T.= ecotoxicidad terrestre, H. H.= huella hídrica, A.R. A.= agotamiento de recursos abióticos, A.R. F.= agotamiento de recursos fósiles y H. E.= huella energética.

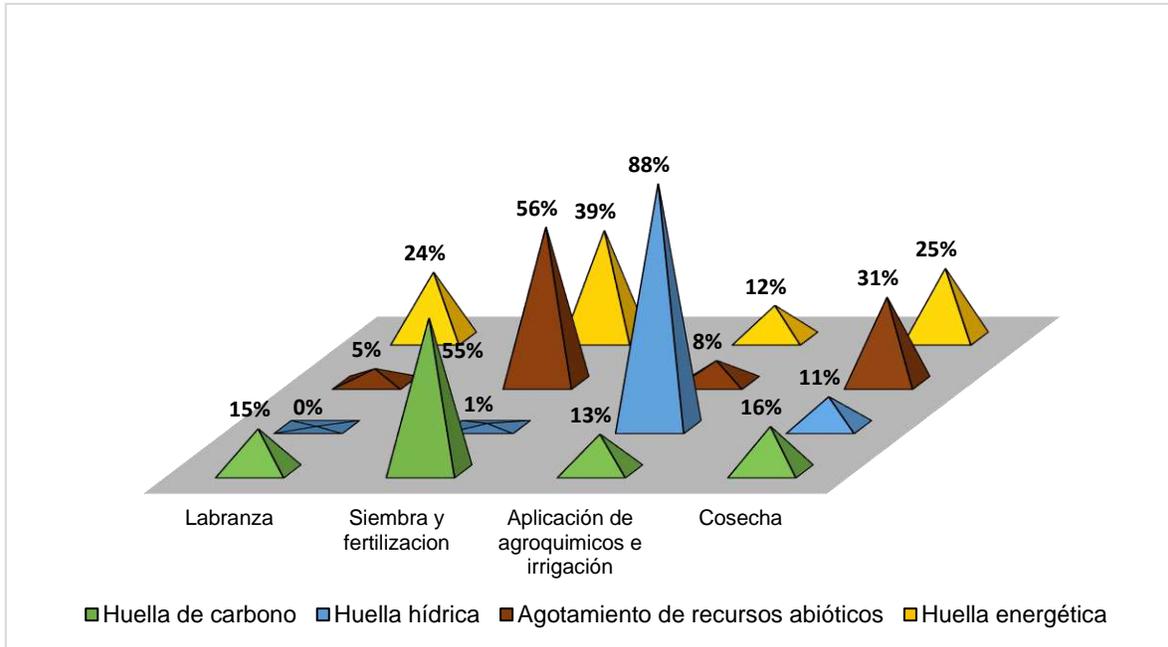
**Tabla 3. Impactos asociados a la producción de un m<sup>2</sup> de eco-panel.**

Impacto	H. C	T. H	E. T	H. H	A. R. A	A. R. F	H. E
Indicador	kg CO <sub>2</sub> eq	kg 1,4-DB eq	kg 1,4-DB eq	m <sup>3</sup>	kg Fe eq	kg oil eq	MJ eq
<b>Etapas</b>							
<b>Agrícola</b>	8.96E-02	2.72E-02	3.39E-05	7.56E-04	6.14E-03	1.07E-01	4.7E+00
<b>Obtención de bolsas plásticas</b>	3.15E+00	1.91E-01	1.91E-04	5.14E-03	1.81E-02	2.38E+00	1.08E+02
<b>Eco-panel</b>	2.84E+00	5.29E-01	2.67E-05	9.02E-04	4.40E-01	3.29E+00	1.48E+02

Fuente: Elaboración propia.

A continuación, se muestran los gráficos de cada una de las etapas estudiadas en esta investigación con su respectiva discusión.

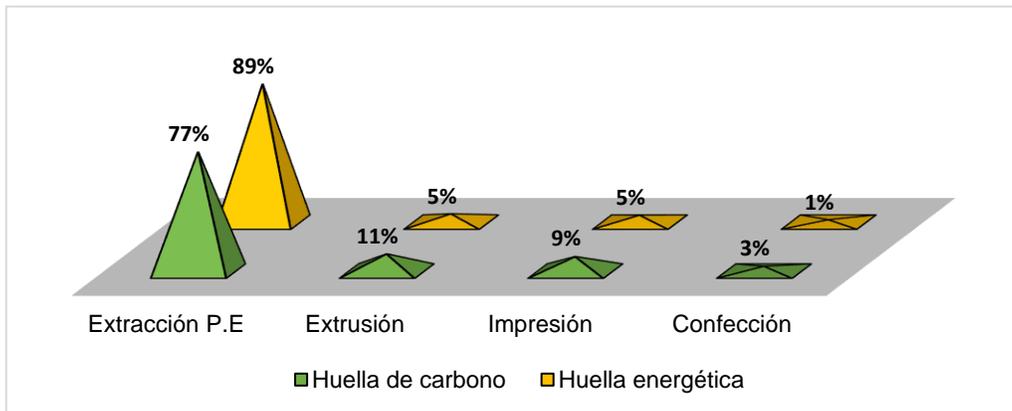
### EIA para la etapa agrícola



**Figura 6. Contribución de impacto para la etapa agrícola (Fuente: Elaboración propia)**

La atribución de un 39% para la etapa de siembra y fertilización respecto a la huella de carbono, agotamiento de recursos abióticos y la huella energética se debe a los impactos asociados a la fabricación de fertilizantes, siendo el nitrógeno el de mayor contribución. De acuerdo con la investigación de Seungdo et al., (2009) determinó que el impacto para la huella energética representa un 50% para la fabricación y uso de fertilizantes. También resalta que el porcentaje de ese impacto está directamente asociado a la cantidad de nitrógeno aplicado, las propiedades del suelo y las condiciones climáticas. Las investigaciones de Patzek (2004) y Pimentel (2005) reportan mayores aportaciones de este impacto para la producción de fertilizantes y aplicación de fertilizantes, incluso mayor que los plaguicidas.

**EIA de la obtención de bolsas**



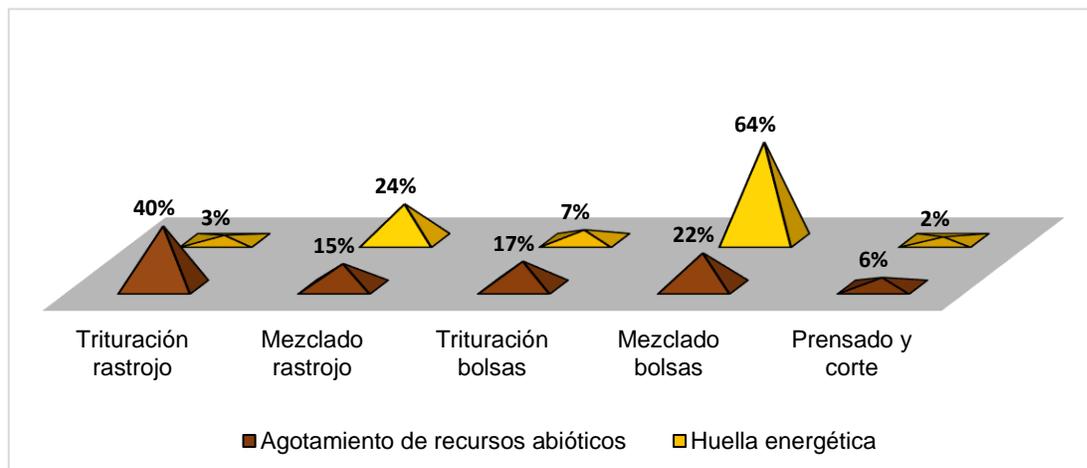
**Figura 7. Contribución de impacto de la obtención de bolsas de plástico (Fuente: Elaboración propia).**

La extracción del polietileno es la etapa de mayor contribución energética y de cambio climático, que de acuerdo con la investigación del Instituto Nacional de Ecología INE (2009) se debe a que el proceso de obtención de los materiales es de los derivados del petróleo crudo. Sin tomar en cuenta

la extracción del polietileno los procesos de mayor impacto son la extrusión e impresión, los gases que contribuyen a la huella de carbono son generados por el consumo de electricidad.

La variación de los impactos generados por la fabricación de bolsas plásticas depende del tipo de resina que se utilice y el tamaño. En la investigación presentada por Ruban (2012) se estudia la fabricación de bolsas para el acarreo de alimentos y debido al mayor porcentaje de re-uso de las bolsas los impactos reportados para la huella de carbono son menores.

### EIA eco-panel



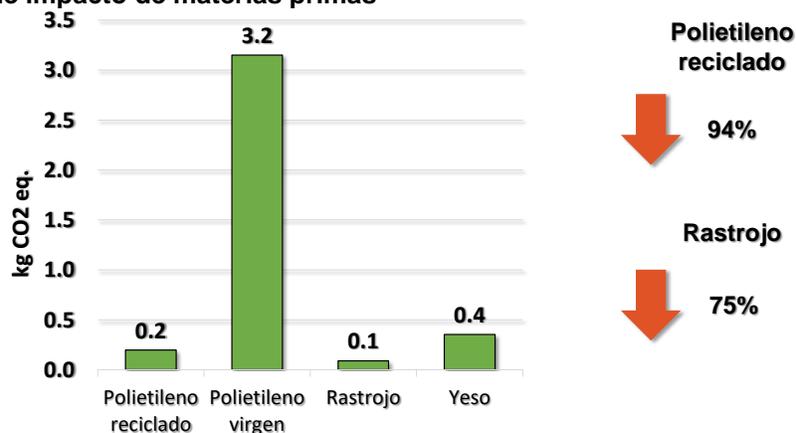
**Figura 8. Contribución de impacto del eco-panel (Fuente: Elaboración propia).**

El mayor porcentaje de impacto respecto al agotamiento de recursos abióticos en la trituración del rastrojo y se debe a que la manufactura del bien de capital que representa el equipo utilizado en la línea de producción. Mientras que la mayor contribución del consumo energético de los mezcladores es causada por tener más horas de operación por día.

De acuerdo con la investigación de Sierra-Pérez *et al.*, (2016), presenta que los tableros térmicos de su sistema de estudio tienen mayor repercusión de impacto de huella energética en la aglomeración de las materias primas, que en este caso de estudio dicha operación es el mezclado.

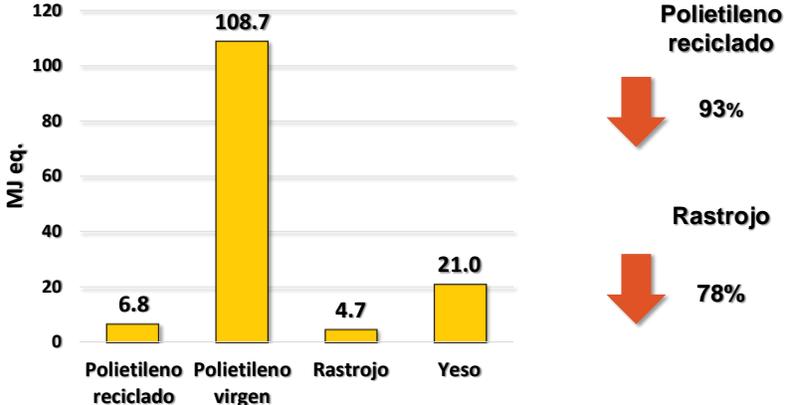
Sin embargo, es de mayor importancia analizar los impactos ocasionados por las materias primas que integran al panel, ya que representan la mayor contribución al sistema del producto, como lo reporta Zabalza *et al.*, (2011).

### Comparación de impacto de materias primas

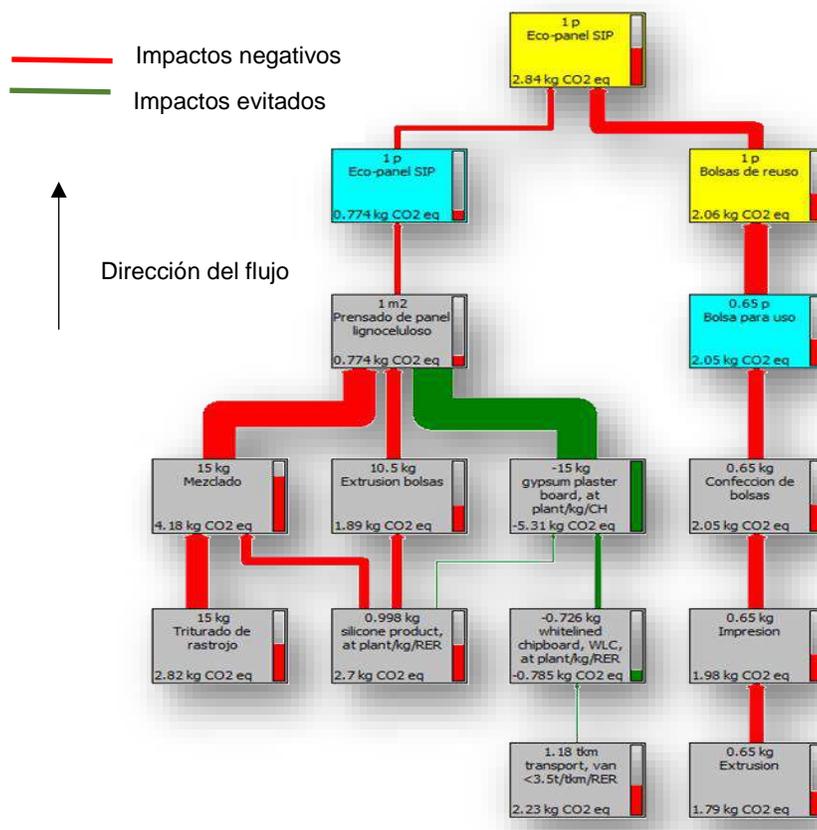


**Figura 9. Comparación de materias primas en huella de carbono (Fuente: Elaboración propia)**

En la figura 9 se observa una notable reducción de la huella de carbono al montar un escenario de reciclaje para la obtención del polietileno necesario para la fabricación del eco-panel. La huella de carbono se reduce un 94 por ciento y la huella energética es un 93 por ciento menor, (como se muestra en la figura 10). Lo que representa una disminución a la huella de carbono de 36.22 kg CO<sub>2</sub> eq. y un ahorro energético de 1,182 MJ, energía suficiente para fabricar 8 eco-paneles más por día. En cuanto al rastrojo se comparo con el yeso, un material bastante utilizado para la elaboración de recubrimientos convencionales (USG, 2017). El resultado muestra un 75 por ciento de reducción para la huella de carbono y un 78 por ciento para la huella energética.



**Figura 10. Comparación de materias primas en huella energética (Fuente: Elab. propia) Montaje general en el software Simapro®**

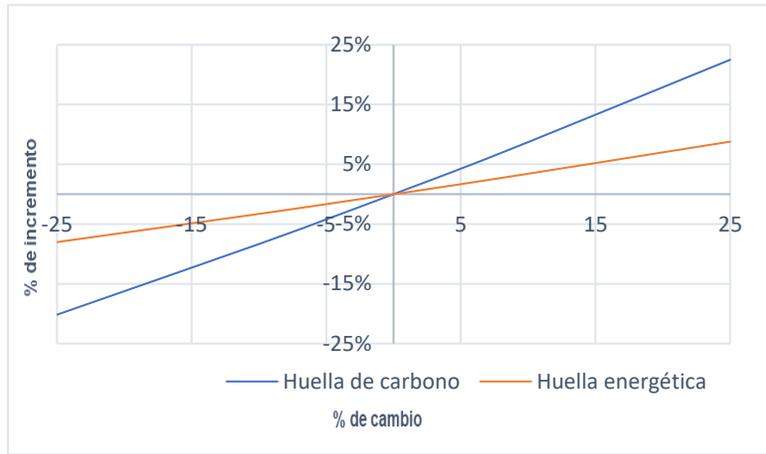


**Figura 11. Diagrama de flujo obtenido en el software (Fuente: Simapro®)**

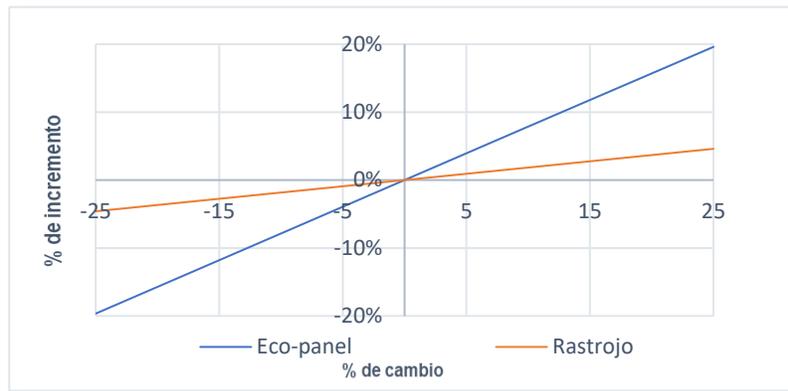
Los flujos en color rojo representan la acumulación de cargas a través del proceso de fabricación del eco-panel, la línea verde muestra las cargas evitadas por no utilizar yeso dentro de los insumos de fabricación, lo cual representa una cantidad de 5.31 kg de CO<sub>2</sub> eq., evitado. Las cajas en color amarillo muestran el montaje de escenario de fin de vida de las bolsas plásticas. Adjunto a ello se muestran en la parte inferior las cajas de las materias primas y sus principales procesos de obtención, así como también el transporte asignado.

### Análisis de sensibilidad

Se realizó un análisis de sensibilidad para la observar el comportamiento de dos variables dentro del sistema de estudio, (i) relación plástico-rastrojo en el eco-panel y (ii) transporte de insumos. Se realizaron incrementos o decrementos del 1%, 10%, 15% y 25% para la observar la respuesta a cambios al sistema de estudio original. Al incrementar o decrecer un 25% de la relación plástico-rastrojo en el eco-panel obtuvo una respuesta del 24% para la huella de carbono y un 8% para la huella energética, por lo que esa relación es una variable importante dentro del sistema del producto. En cuanto al transporte de insumos para la etapa de cultivo y fabricación del eco-panel si se aumenta o disminuye un 25% este obtiene un 20% de respuesta en la huella de carbono del eco-panel. No sucede de igual forma en el transporte de insumos para la obtención del rastrojo, ya que solo tiene como respuesta un 5% de aumento o decremento. A continuación de muestran los gráficos obtenidos.



**Figura 12. Análisis de sensibilidad de la relación plástico-rastrajo que integra al eco-panel (Fuente: Elaboración propia).**



**Figura 13. Análisis de sensibilidad para la huella de carbono del transporte (Fuente: Elaboración propia).**

### CONCLUSIONES

La contribución principal de este trabajo son los resultados presentados por el uso de materias primas de origen recicladas en comparación con insumos convencionales en el diseño de nuevos productos y el aporte del uso del método ACV a nivel regional.

El uso de la herramienta ACV en esta investigación permitió entender los procedimientos y flujos que se involucran dentro del sistema planteado. La elaboración del ICV proporcionó la base para la cuantificación de los impactos ambientales.

La EIA mostró los subprocesos con mayores cargas ambientales, importantes para la toma de decisiones en la fabricación de los productos. Además de la utilización de los datos para su comparación con otros autores.

El análisis de sensibilidad permitió evaluar los efectos que tienen las variables en escenarios alternativos al caso de estudio base, a fin de observar el comportamiento y la relevancia que tienen dentro del sistema del producto.

El cumplimiento de las normas ISO 14040-14044 da una ventaja de marketing a los productos presentados con la asignación de una eco-etiqueta, dando la apertura de nuevos mercados de comercialización.

La aplicación de sistemas de gestión de residuos contribuye a la protección del ambiente y a propiciar el desarrollo sostenible, como lo estipula la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de Residuos (LGPGIR) en México.

El desarrollo de productos sostenibles con el medio ambiente coloca a México en una posición privilegiada a nivel internacional, por el cumplimiento de acuerdos a los que pertenece.

## BIBLIOGRAFÍA

1. Aden et al., M. R. (2002). Lignocellulosic biomass to ethanol process design and economics utilizing co-current dilute acid prehydrolysis and enzymatic hydrolysis for corn stover. National Renewable Energy Laboratory.
2. Amanda, L. S. (2007). Evaluating fuel ethanol feedstocks from energy policy perspectives: A comparative energy assessment of corn and corn stover. ELSEVIER.
3. Ammann, H., & Stadler, E. (1998). Technische und organisatorische Aspekte des Traktoreinsatzes. (S. F. (FAT), Ed.) Taenikon, Ettenhausen, Switzerland.
4. Borja-Bravo M, R.-M. L. (2013). Producción y consumo de rastrojos en México. En Reyes-Muro L, Camacho-Villa T C y Guevara-Hernández, F. (Coords.). Rastrojos: manejo, uso y mercado en el centro y sur de México. Pabellón de Arteaga, Aguascalientes, México: INIFAP.
5. C., D. J. (1999). Life Cycle Inventory (LCI) of Fertiliser Production. Sweden and Western Europe: University of Technology.
6. Camacho et al., T. C. (2013). Social and economic situation of the management and use of crop residues in the Valles Altos region. Pabellón de Arteaga, Aguascalientes, México: CIMMYT.
7. Carla Pieragostini 1, P. A. (2013). Life cycle assessment of corn-based ethanol production in Argentina. Santa Fé: ELSEVIER.
8. Carrillo, G. (2013). La ecología industrial en México. (UAM, Ed.) México, DF, México.
9. CCA. (2014). La quema de residuos agrícolas: fuente de dioxinas. Montreal, Canadá: Comisión para la Cooperación Ambiental.
10. CIMMYT. (2015). Programa de Intensificación Sustentable ¿Y tú, quemas el rastrojo? El Batán, Texcoco, México : CIMMYT.
11. Da Silva, P. A. (2009). An integrated methodology for environmental impacts and costs evaluation in industrial processes.
12. Deree. (22 de Enero de 2016). Obtenido de <http://www.deree.com>
13. Dreyer L et al., N. A. (2003). Comparison of three different LCIA methods: EDIP97, CML2001 and Eco-indicator 99. Int J Life Cycle Assess.
14. Ekvall T, F. G. (2001). Allocation in ISO 14041—a critical review. J Clean Prod.
15. FAO. (2017). Oficina Regional de la FAO para América Latina y el Caribe. [www.fao.org/faostat](http://www.fao.org/faostat)
16. Frischknecht et al., R. H. (2007). The environmental relevance of capital goods in life cycle assessments of products and services. International Journal of Life Cycle Assessment.
17. Frischknecht, R. A. (2000). Human health damages due to ionising radiation in life cycle impact assessment. Environmental Impact Assessment Review.
18. Giraldi, D. M. (2013). La ecología industrial. Teoría, concepto y herramientas. México, D.F.
19. Giraldi, M.; Francois, J.; Martin-del-Campo, C. Life cycle assessment of hydrogen production from a high temperature electrolysis process coupled to a high temperature gas nuclear reactor. Int. J. Hydrog. Energy 2015, 40, 4019–4033.
20. Green it Innovation Tech. (2016). Superreciclaje de materiales de residuos sólidos urbanos (rsu) plásticos para su reincorporación como materia prima en la obtención de un eco-recubrimiento. Xalapa, Veracruz.
21. Greene, J. (2011). Life Cycle Assessment of Reusable and Single-use Plastic Bags in California. California: California State University

22. Guevara et al., F. H. (2013). Implicaciones socioeconómicas y energéticas del uso y manejo de rastrojo en la región Frailesca, Chiapas. La Frailesca, Chiapas, México: INIFAP.
23. Guevara et al., H. F. (2013). Usos múltiples de los rastrojos: soluciones diversas. El Bajío, México: INIFAP.
24. Guinée et al., J. H. (2011). Life cycle assessment: past, present, and future. *Environ Sci Technol*.
25. Guinee, J.B.; de Bruijn, H.; Van Duin, R.; Huijbregts, M.A.J.; Lindeijer, E.; Roorda, A.A.H.; van der Ven, B.L. *Handbook on Life Cycle Assessment: Operational Guide to the ISO Standards*; Kluwer Academic Publishers: Dordrecht, The Netherlands, 2004.
26. Gutierrez, M. M. (2004). Guía para producir maíz con fertirriego por goteo y labranza de conservación en Querétaro. Querétaro: INIFAP.
27. Herrmann, A. (2009). *Biogas Production from Maize: Current State, Challenges and Prospects*. 2. Agronomic and Environmental Aspects. Springer Science.
28. Hischier et al., R. B. (2010). *Implementation of Life Cycle Impact Assessment Methods*. Dübendorf, Suiza.
29. INE. (2009). *Estudio comparativo de bolsas de plástico degradables*. México.
30. INIFAP. (2010). *Curso-Taller de actualización tecnológica para el cultivo de maíz*. Cotaxtla, México.
31. International Fertilizer Industry Association, IFA. (2006). *World Fertilizer Use Manual*. Retrieved.
32. ISO 14040. (2006). *Sistema de gestión ambiental: Análisis de ciclo de vida, principios y marco de referencia*.
33. ISO 14044. (2006). *Gestión ambiental Análisis del ciclo de vida Requisitos y directrices*.
34. Jorge Sierra-Pérez, M. D. (2016). *Life Cycle Assessment of the use of natural materials as thermal insulation in buildings. The case of cork boards*. Zaragoza: Institute of Environmental Science and Technology (ICTA).
35. José D. Silvestre, N. (2016). *Insulation Cork Boards—Environmental Life Cycle Assessment of an Organic Construction Material*. Lisboa, Portugal.: MDPI.
36. José Dinis SILVESTRE, N. P. (2014). *ENVIRONMENTAL LIFE CYCLE ASSESSMENT FROM CRADLE TO CRADLE OF INSULATION CORK BOARDS*. Lisboa: ResearchGate.
37. KATO et al., T. C. (2009). Origen y diversificación del maíz: una revisión analítica. México, D.F.: Universidad Nacional Autónoma de México, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad.
38. Lal, R. (2004). *Carbon emission from farm operations*. Ohio: ELSEVIER.
39. Leslie et al., J. &.-Y. (2012). *Life cycle assessment (LCA) applied to the process industry: a review*. Springer-Verlag.
40. Luo et al., L. &. (2009). *Allocation issues in LCA methodology: a case study of corn stover-based fuel ethanol*. Leiden, The Netherlands: Springer-Verlag.
41. Márquez et al., M., Valdés, N., Ferro, M. E., Paneque, I., Rodríguez, Y., Chirino, E., & Gómez, L. M. (2011). Análisis agroenergético de tipologías agrícolas en La Palma. En: Ríos, L. H.; Vargas, V. D, y Funes, M. F. (Comp.). *Cuba: Innovación agroecológica, adaptación y mitigación del cambio climático*. Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas (INCA).
42. Nemecek y Kägi. (2007). *Life Cycle Inventories of Agricultural Production Systems*. Suiza: Ecoinvent.
43. NMX-SAA-14040-IMNC. (2008). *GESTIÓN AMBIENTAL-ANÁLISIS DEL CICLO DE VIDA-REQUISITOS Y DIRECTRICES*.
44. NMX-SAA-14044-IMNC. (2006). *Gestión ambiental Análisis del ciclo de vida- Requisitos y directrices*.
45. Norris, G. (2006). *Social Impacts in Product Life Cycles*. *International Journal of Life Cycle Assessment*.
46. Patzek, T. (2004). *Thermodynamics of the corn-ethanol biofuel cycle*. *Crit Rev Plant Sci*.
47. Pennington et al., D. J. (2004). *Life cycle assessment Part 2: Current impact assessment practice*. *International Journal of Environmental*.
48. Pimentel D, P. T. (2005). *Ethanol production using corn, switchgrass and wood; biodiesel production using soybean and sunflower*. *Nat Resour Res*.

49. ReCiPe. (2016). A harmonized life cycle impact assessment method at midpoint and endpoint level. Report I: Characterization. Bilthoven, The Netherlands: National Institute for Public Health and the Environment.
50. Reyes-Muro et al., L. C.-V.-H. (2013). Rastrojos: manejo, uso y mercado en el centro y sur de México. abellón de Arteag, Aguascalientes, México: Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Libro Técnico Núm. 7.
51. Ricoter. (2003). Ricoter Erdaufbereitung-AG. Berlin .
52. Ruban, A. (2012). Life Cycle Assessment of Plastic Bag Production. Master thesis in Sustainable Development at Uppsala University.
53. Ruian Ruipai machinery Co. (6 de Marzo de 2017). Obtenido de <http://www.alibaba.com>
54. Schmidt, J. (2008). Development of LCIA characterisation factors for land use impacts on biodiversity. Journal of Cleaner Production.
55. SDSU, S. D. (2009). Best Management Practices for Corn Production in South Dakota.
56. Seungdo et al., K. &. (2009). Life cycle assessment of corn grain and corn stover in the United States.
57. Sonnemann et al., G. F. (2004). Integrated lifecycle and risk assessment for industrial processes. United States: Press Company.
58. Steen, B. (2006). Abiotic Resource Depletion Different perceptions of the problem with mineral deposits. The International Journal of Life Cycle Assessment.
59. Thompson, M. E. (1990). Cultural Theory. Boulder, CO: Westview Press.
60. T., G. J. (2000). Umweltinventar landwirtschaftlicher Inputs und Prozesse - Aktualisierung und Erweiterung der Daten für die Erstellung von Energie- und Ökobilanzen in der Landwirtschaft. Zürich, Schweiz: Forschungsanstalt für Agrarökologie und Landbau (FAL).
61. Tsurumi. (2002). Hochdruckpumpe LH. Duesseldorf, Germany.
62. UCOL. (2016). Impactos globales en salud de la producción de maíz antes y después del Tratado de Libre Comercio (TLC) (1986–2013). Colima, Colima, México: CONACYT.
63. Udo de Haes, H. (2002). Industrial ecology and life cycle assessment. R.U: A Handbook of Industrial Ecology.
64. UNFCCC, U. N. (2004). Information on Global Warming Potentials, Technical Paper.
65. USDA. (2017). World Agricultural Supply and Demand Estimates. [www.usda.gov](http://www.usda.gov)
66. USG. ( 2017). PANELES DE YESO MARCA USG TABLAROCA®. Obtenido de [www.usg.com](http://www.usg.com)
67. Zabalza Bribián, I. V. (2011). Life cycle assessment of building materials: Comparative analysis of energy and environmental impacts and evaluation of the eco-efficiency improvement potential. Build. Environ.
68. Zhejiang Jingli Tools Co. (6 de Marzo de 2017). Obtenido de <http://www.alibaba.com>
69. Zhengzhou Really Imp. & Exp. Co., L. (6 de Marzo de 2017). Obtenido de <http://www.alibaba.com>

Alksfña

Dflaksfñkasdf

asñdfaskdfñl

### **2.5.11 Ecoeficiencia en el uso de la escoria de acero como sustituto de materia prima en la cerámica tradicional.**

**José Leandro Mendoza Cuenca** <sup>(1)</sup>

Diseñador Industrial, Técnico Ceramista, Candidato a Doctor en Diseño, Técnico Académico de Tiempo Completo en Cerámica y Vidrio en la Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Xochimilco.

**Dirección (1):** Privada Parque de Naranjos Casa 4 - Residencial Foresta – Metepec - Estado de México – Código Postal – 52143 – México – Tel.: (+521) 722-5314905 – e-mail: [leandro\\_mc@yahoo.com](mailto:leandro_mc@yahoo.com)

#### **RESUMEN**

El texto del resumen utilizará la fuente Arial, Tamaño 10, alineación de párrafo justificado, sin Sangrías a la derecha o a la izquierda y **sin espacio entre líneas**. El resumen no excederá las 25 (veinticinco) líneas.

**Palabras claves:** Escoria de acero, Cerámica, Método simplex, Ciclo de vida, Df(X)

#### **INTRODUCCIÓN**

La creciente necesidad de reciclar los desechos producidos por las diferentes ramas industriales ha logrado que algunos residuos despierten el interés científico, tal el caso de aquellos ricos en sílice, ceniza volante y escorias de alto horno EAH, para la elaboración de productos vitrocerámicos alternativos. En México, la industria de la cerámica hace uso de las siguientes materias primas para la formulación de compuestos cerámicos: arcilla, sílice, carbonato de calcio, caolín y feldespatos, la cantidad de uso en la fórmula del compuesto cerámico se determina por su temperatura de sinterización, el proceso de producción y el tipo de objeto que se fabrica. Por esta razón, un compuesto cerámico para la industria de baldosas y azulejos no será el mismo que para la fabricación de vajillas o la industria de los sanitarios.

La cerámica en México tiene a lo largo de su historia la necesidad de desarrollar investigaciones que puedan aportar mejoras continuas en los procesos industriales de productos para la industria de la construcción, tan solo mencionando la formulación de compuestos y esmaltes cerámicos con materias primas tradicionales no hay una sola investigación al respecto, sin embargo, existe la evidencia de que se empiezan a incorporar residuos industriales de la industria del acero, tal es el caso de la investigación desarrollada por Osuna; Alarcón Juan Genaro, en la Facultad de Ciencias Químicas de la Universidad Autónoma de Coahuila, en esta investigación se utiliza la escoria de acero con el objetivo de encontrar un compuesto cerámico para la producción de baldosas para la industria de la construcción (Osuna, 2009).

El trabajo que aquí se desarrolla y presenta, es resultado de la investigación de mis estudios de Doctorado en Diseño, en la que se ha utilizado un residuo industrial proveniente de la producción del acero, la escoria de acero de horno eléctrico. Con este residuo industrial se busca sustituir un porcentaje de las materias primas tradicionales para la producción de objetos para la industria de la construcción.

### La cerámica

En la cerámica tradicional, los materiales se clasifican en:

Materiales Plásticos	Materiales no plásticos	Materiales refractarios	Fundentes	Formadores de vidrio	Óxidos Colorantes
Arcillas	Sílice	Caolín	Feldespatos	Sílice	Cobalto
Caolines	Feldespatos	Alúmina	Plomo		Cobre
	Talco		Boro		Cromo
	Calcio		Zinc		Hierro
	Alúmina				Manganeso

**Tabla 1: Clasificación de las materias primas en la cerámica tradicional. Elaboración propia.**

Las características más importantes en un compuesto cerámico son las siguientes:

**Plasticidad:** Es la más importante, con excelente plasticidad se pueden fabricar mediante cualquier proceso industrial objetos funcionales o utilitarios en cerámica, ya sea desde baja, media o alta temperatura. La plasticidad se determina por el tipo de arcilla y el tamaño de la partícula, mientras más partículas pequeñas se tienen, es mayor la plasticidad de cualquier compuesto cerámico, a nivel industrial, los compuestos cerámicos se formulan con materias primas a malla 200 hasta 325.

**Encogimiento:** En la cerámica tradicional, se presentan dos tipos de encogimiento, al secado natural de las piezas y en el sinterizado de las mismas después de ser sometidas a su temperatura de fusión, desde baja hasta alta temperatura se presenta, pudiendo variar a partir del tamaño de la partícula y la vitrificación del compuesto cerámico después de la sinterización. El porcentaje al secado está en un promedio de 6% a 8%, y el encogimiento al sinterizado en baja temperatura está en un promedio final del 8% al 10%, en media temperatura es de un 10% hasta un 13% y en alta temperatura se tiene desde un 12% hasta un 18%.

**Porosidad:** La porosidad está determinada también por la influencia del tamaño de la partícula y de la temperatura de sinterización, mientras mayores sean menor porosidad se tiene en las piezas de cerámica. La cerámica de baja temperatura puede tener un rango de porosidad entre el 8% al 14%, en media temperatura este rango es del 4% al 10%, y en alta temperatura este rango puede

presentarse del 4% al 2%, la porcelana de alta temperatura es el único compuesto cerámico con porosidad del 0%

Vitrificación: Es una característica de la cerámica que se correlaciona directamente con varios factores, el tamaño de partícula de las materias primas del compuesto cerámico, mientras más pequeñas sean las partículas y exista un mayor porcentaje de arcillas, la temperatura de sinterización del compuesto cerámico es otro factor, a mayor temperatura mayor vitrificación. Otro factor es una menor presencia de materiales refractarios que mejora la vitrificación, al igual que la presencia de fundentes como el feldespato, sin embargo, una gran cantidad de sílice en un compuesto cerámico en un rango de temperatura de los 1050°C a los 1150°C disminuye la vitrificación.

No siempre una mayor vitrificación nos permite tener una cerámica resistente a la deformación por el calor de la sinterización. En este concepto, entra la participación del porcentaje de óxido de hierro que pueden tener las arcillas rojas, el análisis químico de las arcillas nos dan un indicio de su posible resistencia a la temperatura de sinterización, un porcentaje superior al 6% nos dice que esa arcilla puede no resistir la temperatura, el óxido de hierro a temperaturas superiores a los 1000°C se comporta como un fundente, de tal forma, que vitrificaría de forma excelente, pero no así su resistencia a la deformación por la temperatura de sinterización.

### La escoria de acero

En México, la Cámara Nacional del Acero (Canacero), en el Instrumento Técnico Normativo CVSC-ITN02-2003 establece que las escorias de acero son consideradas como residuos no peligrosos, por lo que pueden ser reutilizadas en: la fabricación de cemento y agregados de concreto, como base para la pavimentación de caminos y autopistas, acondicionamiento de suelos, entre otras. No se menciona que estas también pueden ser utilizadas en la formulación de compuestos cerámicos como un alúmino-silicato. En el año 2005, la Canacero, informa que en México la producción fue de 16.2 millones de toneladas de acero, y una producción de escoria de 4.05 millones de toneladas. En el reporte de 2017, se señala que la industria del acero en México 820 mil toneladas de escoria se han utilizado en la producción de cemento, así como en actividades relacionadas a la industria de la construcción (Canacero, 2017), sin detallar cuáles son esas actividades.

En esta investigación se utilizará la escoria de horno eléctrico, para sustituir al caolín EPK, se hizo un análisis de tamaño de partícula tanto a la escoria no neutralizada como a la escoria neutralizada, previamente al tamizado se recolectaron con un imán y separaron las rebabas de acero en cada una de las muestras, para solamente tener las partículas sinterizadas de la EAH, con los siguientes resultados:

#### Escoria de Alto Horno no neutralizada

Número de Malla	% de granulometría	Peso en grs.
< 100	6.6	32.8
100	22.6	112.8
200	23.8	119.2
325	43.4	216.8
Rebabas de Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3.0	14.8
Ppt (pérdidas por trabajo)	0.7	3.6
TOTAL	100	500

**Tabla 2: Porcentajes por tamaño de partícula en la escoria de arco eléctrico no neutralizada. Elaboración propia.**

Número de Malla	% de granulometría	Peso en grs.
< 100	10.2	50.8
100	32.8	164.0
200	29.2	145.8
325	26.5	132.6
Rebabas de Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1.0	5.0
Ppt (pérdidas por trabajo)	0.4	1.8
TOTAL	100	500

**Tabla 3: Porcentajes por tamaño de partícula en la escoria de arco eléctrico neutralizada. Elaboración propia.**

Como se puede observar el tamaño de la partícula de la escoria de acero tal cual se obtiene del proceso de la industria del acero por un simple proceso de tamizado en seco y un proceso de recolección de rebaba de acero por medio de imanes no es un problema para ser utilizada en el proceso productivo de la cerámica tradicional y poder así sustituir al caolín.

Un comparativo de análisis químico de la escoria de acero y el caolín EPK nos determina diferencias significativas (Tabla 4), la más importante es el alto porcentaje de óxido de calcio en la escoria de acero, lo cual determinó que la escoria tuviera que ser neutralizada después de una primera fase experimental, abriendo una interesante oportunidad para un subproducto que se obtuvo en este proceso.

Material	Caolin EPK %	Escoria de Acero %
SiO <sub>2</sub>	47.46	34.2
<b>CaO</b>	<b>0.22</b>	<b>36.5</b>
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	35.96	10.5
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.54	0.44
BaO	-	5.31
MgO	0.05	2.45
MnO	0.01	6.24

TiO <sub>2</sub>	0.01	0.72
Na <sub>2</sub> O	0.01	1.84
K <sub>2</sub> O	2.09	0.71
SO <sub>3</sub>	0.15	0.01
S <sup>2-</sup>	-	0.95
PPI <sup>a</sup>	12.52	-0.98
Total	99.01	99.2

<sup>a</sup> PPI Pérdidas por ignición, se refiere a la presencia de materia orgánica

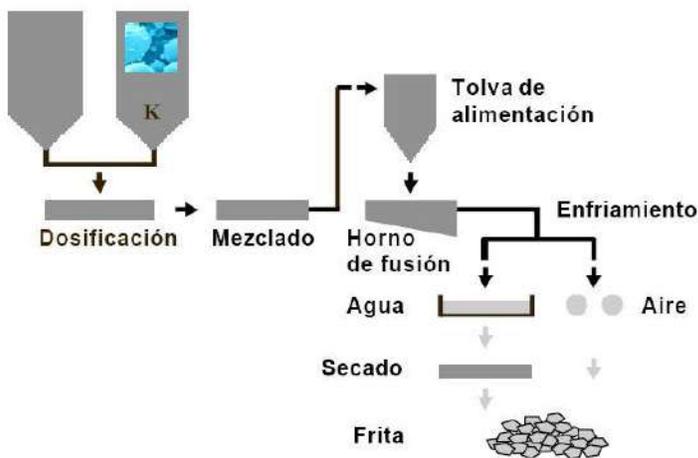
**Tabla 4: Análisis químico de la escoria de acero y el caolín EPK. Fuente (Mostafá, et al. 2010).**

El alto porcentaje de CaO, hasta un 36%, que tiene la EAH es un dato importante para la propuesta de formar un esmalte cerámico de media temperatura a 1,150° C, bien puede ser que se obtenga un esmalte transparente, con una baja viscosidad, y un brillo notable como resultado de una excelente tensión superficial.

### Los esmaltes cerámicos de media temperatura

Los esmaltes cerámicos de media temperatura se les conoce como esmaltes de frita, nombrados así, porque en la fórmula del esmalte, existen componentes solubles en agua, por lo cual es necesario realizar un proceso industrial con una elevada huella de consumo de energía.

Materias primas



**Figura 1: Proceso de producción de una frita de esmalte cerámico. Fuente: [http://www.construmatica.com/construpedia/Proceso\\_de\\_Fabricaci%C3%B3n\\_de\\_Baldosas\\_Cer%C3%A1micas0000](http://www.construmatica.com/construpedia/Proceso_de_Fabricaci%C3%B3n_de_Baldosas_Cer%C3%A1micas0000)**

Los materiales son depositados en un crisol para elevar su temperatura hasta un rango de 1,350°C, en esta temperatura los materiales adquieren una característica igual a la del vidrio, con esas condiciones se vierte el crisol en agua para provocar un choque térmico y obtener pedazos de vidrio, que deberán de ser molidos en una molienda húmeda dentro de un molino de bolas de porcelana o

de alta alúmina para no contaminar la fórmula. Una vez que se tiene la granulometría de malla 200, el esmalte deberá de ser secado utilizando energía eléctrica o gas, para finalmente empacarse en costales para su venta a los talleres de los ceramistas.

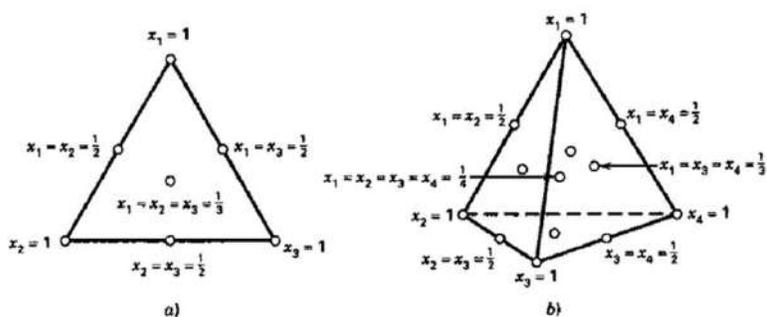
Aún y cuando se han estado investigando desde hace algunos años la sustitución del plomo como uno de los fundentes en estos esmaltes, no ha sido posible del todo, pues el brillo superficial que otorga el plomo en los esmaltes cerámicos no se ha encontrado con características iguales al utilizar el boro o bórax como sustituto del plomo (Hald, 1977).

### Objetivo general

- 1.- Comprobar que la escoria de acero puede ser utilizada como un sustituto de materia prima para la formulación de un compuesto cerámico sinterizado a  $1,150^{\circ}\text{C}$ , sin alterar los procesos productivos tradicionales de losetas cerámicas.
- 2.- Obtener una fórmula de un esmalte cerámico libre de plomo que será utilizado en el compuesto cerámico obtenido, sinterizado a la misma temperatura de  $1,150^{\circ}\text{C}$ .

### Metodología

Para la prueba de experimentos del compuesto cerámico como del esmalte de media temperatura, se utilizó el método simplex, tal y como se explica en la siguiente figura 2:



**Figura 2: Método simplex. Fuente Montgomery (2004).**

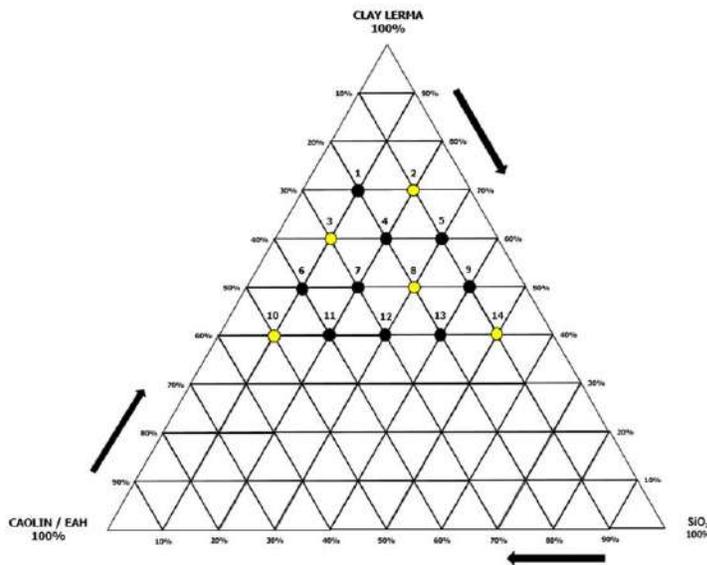
Para el primer objetivo la formulación de un compuesto cerámico, se realizaron dos investigaciones, la primera denominada Prueba Testigo (PT), con las materias primas tradicionales para la fabricación de losetas cerámicas, y la segunda denominada Prueba con Escoria (PCE), en esta solo se sustituye el caolín por la escoria de acero, ambas se sinterizaron a  $1,150^{\circ}\text{C}$ , se realizaron mediciones de plasticidad, encogimiento al secado, al sinterizado, porosidad, resistencia a la flexión y a la compresión.

Se realizaron en ambas pruebas PT y PCE, estudios de caracterización:

- a) Difracción de rayos X para obtener los diagramas de fases en cada uno de los 14 puntos de cada prueba.
- b) Estudios con microscopio electrónico de barrido, para observar las fases cristalinas de cada compuesto cerámico, así como la porosidad de cada punto de prueba.

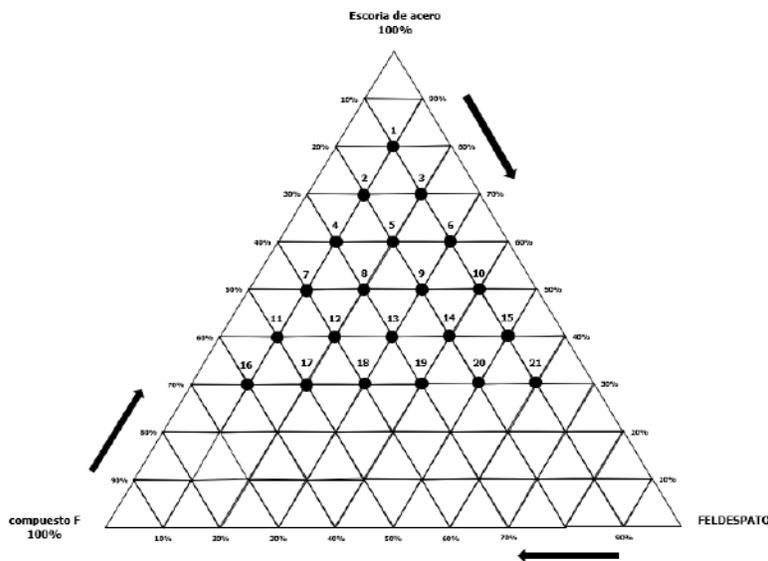
Para la investigación del esmalte cerámico, esta se realizó a partir de la selección del compuesto cerámico de la PCE, se utilizaron tres materiales tradicionales y la escoria de acero, fue una investigación de 21 formulas, ninguno de estos materiales es soluble en agua.

La investigación del compuesto cerámico determinó la elaboración de 14 formulaciones, tanto para la prueba de muestras testigo como para la prueba de sustitución con escoria, en la siguiente figura 3 podemos observar como se establecen las combinaciones de materiales para cada prueba.



**Figura 3: Triángulo triaxial, diseño de pruebas experimentales, las pruebas testigo tendrán caolín EPK, mismo que será sustituido por la escoria de horno eléctrico, sinterizadas a 1,150°C. Elaboración propia.**

Para la investigación del esmalte cerámico de media temperatura se establecieron tres materiales para la combinación de 21 fórmulas, estas pruebas se realizaron pesando 20 gramos de cada una y aplicando el esmalte en una probeta de prueba formulada con el compuesto cerámico número 4, que incluye en su fórmula la escoria de acero, esta fórmula es 60% de arcilla de Lerma, 20% de sílice y 20% de escoria de acero, en la siguiente figura podemos observar la combinación e materiales:



**Figura 4: Triángulo triaxial, diseño de pruebas experimentales, pruebas de esmalte cerámico de media temperatura sinterizado a 1,150°C. Elaboración propia.**

**Discusión de resultados**

En la formulación de los compuestos cerámicos de cada uno de los 14 puntos de la prueba testigo, los resultados de plasticidad, encogimiento al secado, al sinterizado y de porosidad estuvieron dentro de lo esperado, en contraparte, los resultados en los 14 compuestos cerámicos de la prueba con escoria de acero, se vieron alterados, aumentando la porosidad, disminuyen los valores de encogimiento al secado y sinterizado, así como el dato más importante, la pérdida de plasticidad, como resultado de que la escoria de acero no tiene la propiedad más importante del caolín, la plasticidad, en la siguiente tabla 5 podemos ver los resultados

El punto seleccionado es el N4, su formula es 60% de arcilla de Lerma, 20% de sílice y 20% de escoria de arco eléctrico.

Prueba de Control				Prueba NO NEUTRALIZADA EAH				Prueba NEUTRALIZADA EAH						
Código	Plasticidad	Encogimiento %		Porosidad (%)	Código	Plasticidad	Encogimiento %		Porosidad (%)	Código	Plasticidad	Encogimiento %		Porosidad (%)
		Secado	Sinterizado				Secado	Sinterizado				Secado	Sinterizado	
TM1	Excelente	7	13	11	G1	Buena	5	10	25.5	N1	Buena	5	9	24.1
TM2	Excelente	6	11	12.7	G2	Buena	5	9	23.4	N2	Buena	5	9	20.2
TM3	Excelente	6	13	9.4	G3	Mediana	4	5	29.1	N3	Buena	3	6	28.4
TM4	Excelente	5.7	11	13.5	G4	Mediana	4	6	25.2	N4	Mediana	4	7	24.9
TM5	Excelente	5	9	13.6	G5	Pobre	4	7	26.2	N5	Mediana	4	7	23.9
TM6	Excelente	6	11	13	G6	Pobre	2	4	29.8	N6	Pobre	3	5	28.6
TM7	Excelente	6	10	11.8	G7	Pobre	3	5	28.8	N7	Pobre	3	5	27.1
TM8	Buena	5	8	15	G8	Nula	3	5	27.8	N8	Pobre	3	5	26.5
TM9	Buena	5.3	5.3	16.9	G9	Nula	2	6	26.5	N9	Nula	3.3	5	24.5
TM10	Excelente	5	11	12.4	G10	Nula	2	3.5	33.5	N10	Nula	2	4	31.9
TM11	Excelente	5	10	14.6	G11	Nula	2	4	33.1	N11	Nula	2	5	30.6
TM12	Buena	5	8	15.7	G12	Nula	2	3	31.5	N12	Nula	2	4	28.2
TM13	Mediana	5	7	16.4	G13	Nula	2	3	31.8	N13	Nula	2	3	28.7
TM14	Mediana	4.7	6	17.2	G14	Nula	2	3	30.1	N14	Nula	2	4	26.4

**Tabla 5: Resultados de plasticidad, encogimiento al secado y sinterizado, así como de la porosidad para cada compuesto cerámico de las pruebas experimentales sinterizadas a 1,150°C. Elaboración propia.**

Se ha determinado como resultado de esta investigación, que la escoria de acero puede ser un buen sustituto del caolín, considerando que existe una pérdida de plasticidad en el compuesto cerámico, será necesario que la arcilla con la que se combine aporte una excelente plasticidad, por lo tanto, solamente se recomienda que este compuesto cerámico N4 sea utilizado en los procesos de extrusión y por medio de prensa ram, para la fabricación de baldosas, tejas y tabiques

En la investigación del esmalte cerámico de media temperatura libre de plomo lo más relevante es que se obtuvo una fórmula que no necesita ser llevada al proceso industrial de esmalte de fritada, pues ninguno de sus componentes es soluble en agua, por lo tanto, la huella de consumo energético será mucho menor que la del proceso de fritada, por lo tanto puede usar directamente por el ceramista como un esmalte crudo, es decir, que tan solo es necesario pesar los materiales de la fórmula y agregar agua para poder esmaltar cualquier producto de cerámica de media temperatura.

Los resultados obtenidos nos permiten comprender que al tener una mayor presencia de escoria de acero en los primeros seis puntos el esmalte no tiene transparencia, hay una presencia de cristales que le dan opacidad al esmalte y se dispersan entre sí, el compuesto de fundentes no tiene la capacidad de modificar el punto eutéctico aún con la participación del feldespato potásico.

A medida que el porcentaje de escoria de acero disminuye y se tiene una alta presencia del compuesto de fundentes, presentándose las mejores condiciones de brillo, tensión superficial y viscosidad en los puntos del 16 al 18, como se pueden observar en la siguiente imagen:



**Figura 5: Probetas de esmalte de los puntos de izquierda a derecha 16, 17 y 18. Fotografía del autor.**

Puede decirse que utilizar la EAH con caolín EPK para facilitar la flotabilidad de las partículas de los materiales, es relevante en los rangos del 30%, utilizar el compuesto de fundentes en el rango del 60% al 40%, y utilizar el feldespato sódico en los rangos del 10% al 70%.

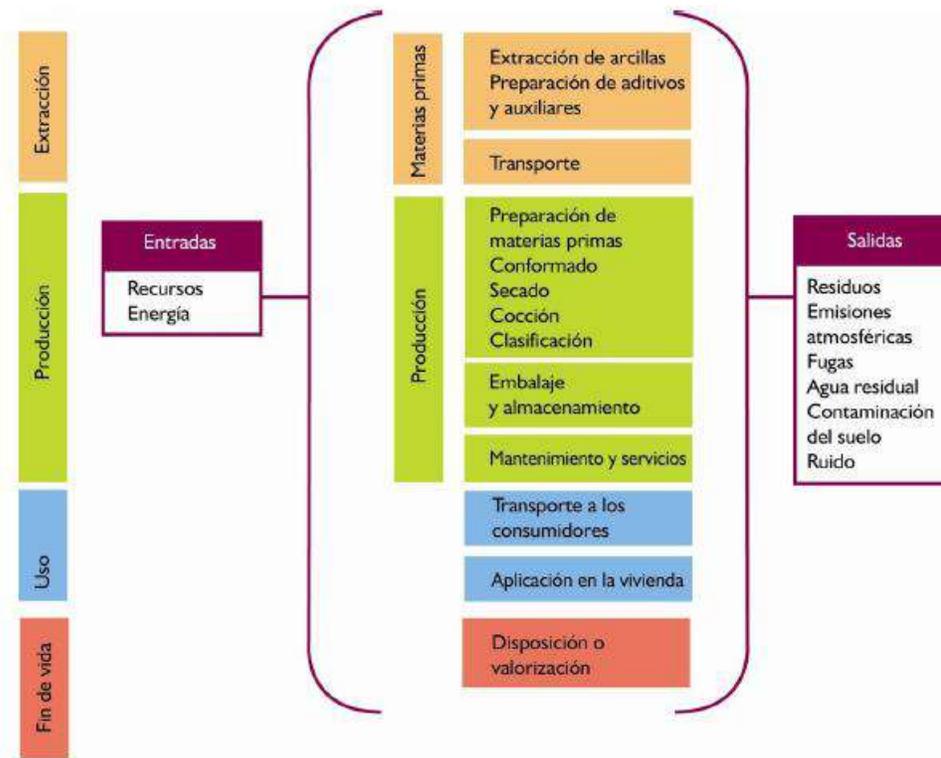
### **Análisis Ambiental**

La producción de objetos cerámicos tiene una determinación en su ciclo de vida que relativamente poco puede variar a lo largo del tiempo, en la investigación realizada con la escoria de arco eléctrico, que demuestra que se pueden formular compuestos cerámicos de media temperatura, así como un esmalte libre de plomo, sinterizados a 1,150°C,

En la etapa de investigación, surge un problema que parecía indicar que no era posible utilizar la escoria como sustituto del caolín, la alta presencia de óxido de calcio al combinarse con el agua para la realización de las probetas de investigación, reaccionaba de tal forma que se presentaba una reacción química que imposibilitaba la manufactura de las probetas y que hacía imposible determinar con certeza la plasticidad de los compuestos cerámicos con la escoria de acero.

Esta situación rara vez se presenta en el uso de materias primas tradicionales en la cerámica, la cerámica cálcica de media temperatura determina que la máxima cantidad de carbonato de calcio que se puede agregar a un compuesto cerámico es de 8 a 10% (Hald, 1977). El carbonato de calcio funciona como un modificador del punto eutéctico a temperaturas de los 1,050 a los 1,150°C, y una mayor cantidad provoca la pérdida de plasticidad y la presencia de burbujas de aire en el cuerpo cerámico, por consiguiente, problemas de producción y muchas pérdidas económicas para el ceramista

Considerando entonces la importancia del ciclo de vida como lo menciona Almeida (2010), en los productos cerámicos, la incidencia de realizar investigaciones que aporten nuevos materiales en los procesos de conformado de piezas, así como en el esmalte, sin alterar los procesos ya establecidos de producción y quizás con notables mejorías, como el uso de esmaltes de media temperatura sin ser procesas mediante una frita.



**Figura 6. Fases del ciclo de vida para el producto cerámico. Fuente: InEDIC, 2011 de Almeida, 2010.**

### Ecoeficiencia

Este principio establece objetivos orientados a mejorar el aprovechamiento de los recursos y a la reducción de la contaminación a lo largo del ciclo de vida de los productos sin descuidar cualidades técnicas y económicas (Capuz, 2004).

La ecoeficiencia bien puede medirse por la siguiente escala de valor (García Parra, 2008):

$$\text{Ecoeficiencia} = \text{Valor del producto} / \text{Impacto ambiental}$$

Compete a hora continuar esta investigación con la técnica denominada DfX, un método que me permitirá determinar y resolver un problema específico a partir de los factores que influyen en cada una de las etapas del ciclo de vida.

DfM Diseño para la Manufactura	DfE Diseño para el Medio Ambiente	DfS Diseño para la Seguridad
Compuestos cerámicos con escoria de acero para media temperatura, 1,150°C. Costos beneficio.	El subproducto obtenido en la investigación y que puede ser usado en la limpieza de aguas residuales.	Formulación de esmaltes cerámicos de media temperatura libres de plomo.

Tabla 6: Técnicas de DfX para determinar la importancia dentro de la ecoeficiencia en el ciclo de vida del uso de la escoria de acero como sustituto de materia prima. Elaboración propia.

## EL PRINCIPIO DE ECOEFICIENCIA APLICADO EN EL DISEÑO

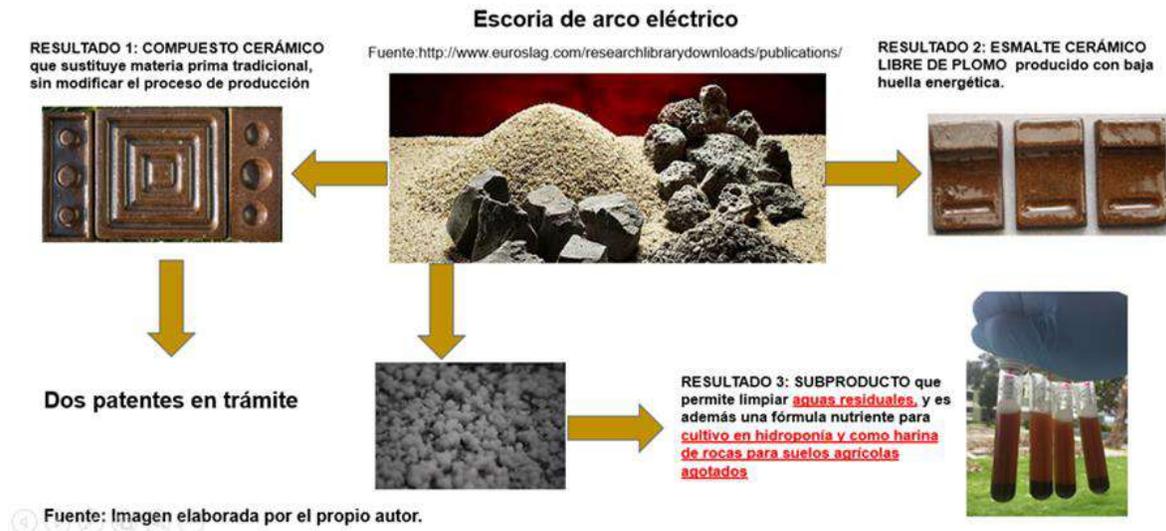


Figura 7: Resultados de la investigación con escoria de acero de arco eléctrico. Elaboración propia.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. CAPUZ RIZO, SALVADOR. (2004) Ecodiseño. Ingeniería del ciclo de vida para el desarrollo de productos sostenibles. México, Alfaomega.
2. [canacero.org.mx/Es/assets/folleto\\_siderurgia\\_y-desarrollo\\_sustentable\\_web\\_2017.pdf](http://canacero.org.mx/Es/assets/folleto_siderurgia_y-desarrollo_sustentable_web_2017.pdf)
3. GARCIA PARRA, BRENDA. (2008) Ecodiseño, nueva herramienta para la sustentabilidad. México, Designio.
4. MONTGOMERY, C. DOUGLAS. (2004). Diseño de Experimentos. México, Editorial Limusa Wiley.
5. MOSTAFA, NASSER Y. (2010). Sintering mechanism of blast furnace slag-kaolin ceramics. Materials and Design, No. 31 (2010), p. 3618.
6. OSUNA, ALARCÓN JUAN GENARO. (2009). Reciclado de escoria de alto horno para la producción de loseta vitrocerámica. U. A. de C. Facultad de Ciencias Químicas, Depto. Cerámica, Blvd. V. Carranza y J. Cárdenas Valdés s/n, 25280, Saltillo, Coah., Méx.
7. PEDER, HALD. (1977). *Técnica de la cerámica*, Tercera edición, Barcelona, Ediciones Omega S. A.

### **2.5.12 Propuestas sustentables en materia energética en un centro de investigación.**

#### **Antonio Rodríguez Martínez**

Doctorado en Ingeniería Química y de Procesos por la Universidad Rovira i Virgili, Tarragona de España, miembro de la Red temática CONACYT de Sustentabilidad energética, medio ambiente y sociedad (Red SUMAS).

#### **Rosenberg J Romero Domínguez**

Doctor en Ingeniería Energética por la UNAM, realiza investigaciones en ciclos termodinámicos desde 1996, cuenta con publicaciones indexadas en temas de energías renovables y sustentabilidad energética, miembro del Sistema Nacional de Investigadores desde 2001.

#### **Jesús Cerezo Román**

Maestría en Ingeniería en Energía por la UNAM y doctorado en Ingeniería Química y Procesos por la Universidad Rovira i Virgili en Tarragona de España, responsable en el desarrollo tecnológico de equipos térmicos, en el CIICAp de la UAEM.

#### **Michel Jair Hidalgo Matias**

Egresado de la licenciatura en Diseño Industrial por la UAEM, técnico especializado por el Instituto Mexicano del Inoxidable AC, CIDI UNAM, diseñador participante en Alternativas Verdes Morelos 2018, miembro del despacho multidisciplinario AT arquitectos.

**Dirección:** Avenida Universidad 1001, Universidad Autónoma del Estado de Morelos-Cuernavaca-Morelos- 62210-México-Tel.: (777) 3297084 ext.6241-e-mail: [antonio\\_rodriguez@uaem.mx](mailto:antonio_rodriguez@uaem.mx)

## **RESUMEN**

El presente trabajo pretende evaluar la sustentabilidad en el Centro de Investigación de Ciencias e Ingeniería Aplicada (CIICAp) ubicado en el campus Chamilpa de la Universidad Autónoma del Estado de Morelos (UAEM) y rediseñar los elementos del sistema de los servicios en el alumbrado, con base en la metodología de la guía de elaboración de proyectos de energía sustentable a cargo del ministerio federal de medio ambiente, protección de la naturaleza, obras públicas y seguridad nuclear. Los elementos como los reportes de energía actuales, cálculos de consumo de energía, apoyos cartográficos, planos arquitectónicos de vialidades, zonificación de área y localización de los suministros de electricidad, se evalúan para eficientar la reducción de gases y aprovechamiento de energías limpias, requisitos de calidad de acuerdo a la norma mexicana de energía eléctrica y requisitos de carácter técnico así como también la ejecución del diseño, montaje y distribución de los espacios de acuerdo a los aspectos ergonómicos necesarios en un área de trabajo.

El proyecto propone el fortalecimiento ambiental e integral con los recursos naturales y la mitigación de los efectos del cambio climático a través del uso de energías limpias que contribuyan a las metas vinculadas al desarrollo sustentable y crecimiento verde de acuerdo a la ley general del cambio climático que establece en su Título primero "las disposiciones generales para garantizar el derecho a un medio ambiente sano y establecer la concurrencia de facultades de la federación, en las entidades federativas y los municipios en la elaboración y aplicación de políticas públicas para la adaptación del cambio climático."

**Palabras claves:** Sistema sustentable, desarrollo sustentable, reducción de gases, fortalecimiento ambiental, energías limpias.

## **INTRODUCCIÓN**

Durante los últimos cincuenta años diferentes evidencias científicas aseguran que el promedio global de la temperatura de la superficie terrestre ha aumentado desde la Revolución Industrial, muchos de los cambios observados en el sistema climático son significativos como consecuencia de las actividades humanas, principalmente la quema de combustibles fósiles y la deforestación, contribuyendo al aumento en la temperatura y al incremento de gases de efecto invernadero, ante esta problemática alrededor del mundo se han propuesto diferentes filosofías y metodologías que tienen como objetivo la mitigación y control de los impactos ambientales de un producto o servicio ejemplo de esto es el eco diseño, análisis del ciclo de vida, huella ecológica, la intensidad material por unidad de producto, entre otros.

En México en el año 2009 fue creado e implementado el anexo al ramo 16 del presupuesto de egresos de la federación con el propósito de que las entidades federativas y los municipios accedieran a recursos para proyectos ambientales, a partir de esto el presupuesto destinado a proyectos relacionados al cambio climático ha evolucionado los últimos siete años, además que se han ido sumando instrumentos normativos de combate al cambio climático como la estrategia nacional de cambio climático que dentro de los objetivos está el poder reducir un 30% de emisiones respecto a la línea base en 2020 y 50% en 2050 en relación con las emisiones del año 2000.

La ley general de cambio climático que dentro de sus objetivos está la oportunidad para conservar y usar sustentablemente el capital natural, aprovechar el potencial enorme para desarrollar energías limpias, corregir ineficiencias en el uso de la energía, generar empleos con una economía verde, promover el desarrollo territorial sustentable, incrementar la competitividad, y mejorar la salud pública y la calidad de vida de la población.

Por lo anterior el presente trabajo de investigación se orienta al estudio y la evaluación del Centro de investigación de ingeniería y ciencias aplicadas (CIICAp) aplicando la metodología de la Guía Para la Elaboración de Proyectos de Energía Sustentable en el alumbrado y rediseño en el sistema de servicios del centro de investigación.

## **HIPÓTESIS**

La aplicación de una metodología para la elaboración de proyectos sustentables que gestione integralmente los elementos del sistema de servicios a través del uso de energías limpias permitiría rediseñar y fortalecer los sistemas de servicios del centro de investigación en ingeniería y ciencias aplicadas (CIICAp)

## **METODOLOGÍA**

### **Descripción general y ubicación física del proyecto**

En esta primera etapa se describen los siguientes elementos: Ubicación y coordenadas del centro de investigación, croquis de su ubicación, ubicación de las vialidades, actividades que se realizan dentro de sus instalaciones, instalaciones hidráulicas, eléctricas y de servicios. Para ubicar el desarrollo del proyecto se utilizó google earth, para la localización física del Centro de investigación CIICAp, ubicado en la zona norte campus Chamilpa de la UAEM. El CIICAp se compone de cuatro edificios. El edificio principal contiene tres plantas con sus correspondientes oficinas. Este edificio es el objeto de estudio del presente proyecto, la estructura del edificio principal se puede verificar con planos de planta conjunto y planos de voz y datos la distribución, el número de oficinas, salones, baños y un auditorio.

### **Análisis de situación actual**

El edificio principal del CIICAp cuenta con cuatro fachadas; una al norte, una al sur, una al este y otra al oeste. Si se utiliza la orientación de las fachadas para un mejor aprovechamiento de la energía solar, la mejor orientación es la fachada del lado sur debido a que durante el día el tránsito solar y

por consecuencia la mayor absorción térmica se presenta en esta fachada. El edificio tiene una dimensión estimada de 42.23 m x 21.51 m; es decir una área aproximada de 910.05 metros cuadrados; datos obtenidos de acuerdo a los planos arquitectónicos del año 2014. Además cuenta con 30 ventanas distribuidas en el edificio, su construcción se compone por tabique recocado lo que permite mantener un clima térmico y confortable al interior del mismo. Los planos arquitectónicos de planta conjunto y planos de voz y datos muestran cuarenta oficinas, ocho baños y dos salones distribuidos de la siguiente forma; en la planta baja 8 oficinas y cuatro baños además de la recepción y un auditorio con capacidad para 150 personas; planta media 16 oficinas dos salones y dos baños y planta alta 16 oficinas y dos baños. Para la operación de los servicios y la actividad laboral de las tres plantas del primer edificio, es necesario el consumo de energía eléctrica a través de lámparas y equipo electrónico del edificio, distribuidas de la siguiente forma; en la planta baja seis lámparas de halógeno y 60 lámparas ahorradoras de 13 w; en las planta media y alta 76 lámparas de 13 w, obteniendo un total de 206 lámparas en el primer edificio. También aparatos electrónicos como CPU, monitores, impresoras, reguladores, teléfonos electrónicos distribuidos de la siguiente forma; en la planta baja 41 aparatos electrónicos, planta media 111 y en la planta alta 94, obteniendo un total de 246 aparatos electrónicos. Para obtener un estimado del consumo de KW/hr de lámparas y aparatos electrónicos se realizó un inventario de los mismos, tomando como dato fundamental el consumo de kw/hr por cada uno de ellos por día, mes/bimestre, de esta forma se obtuvo el consumo de energía eléctrica estimado de forma bimestral. Para mayor ilustración a continuación se presentan las siguientes tres tablas del consumo estimado de KW/bimestre.

**Figura 1: Tablas del consumo eléctrico bimestral por oficina y planta del CIICAp**

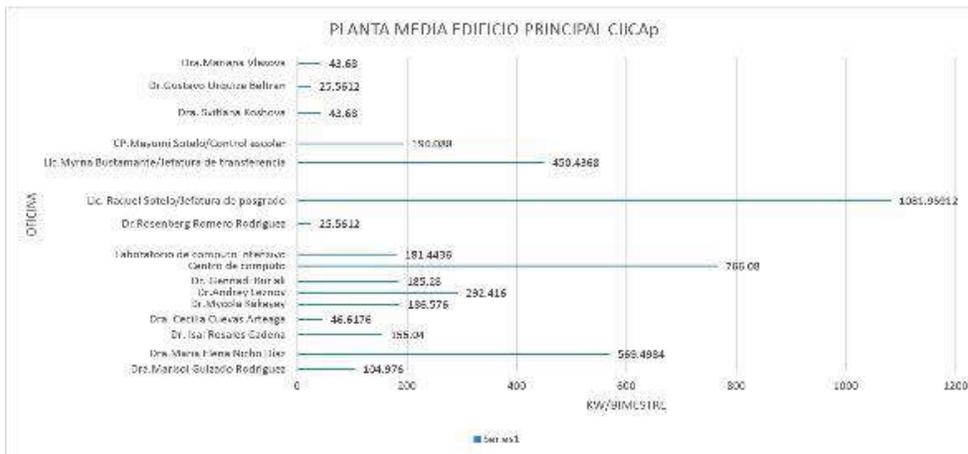


### PLANTA BAJA EDIFICIO PRINCIPAL CIICap



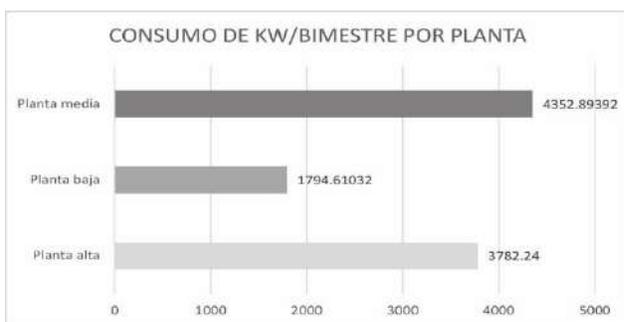
**TOTAL KW/BIMESTRE** 1794.61032

### PLANTA MEDIA EDIFICIO PRINCIPAL CIICap



**TOTAL KW/BIMESTRE** 4352.89392

**Figura 2: Consumo de energía por planta del primer edificio del CIICap**

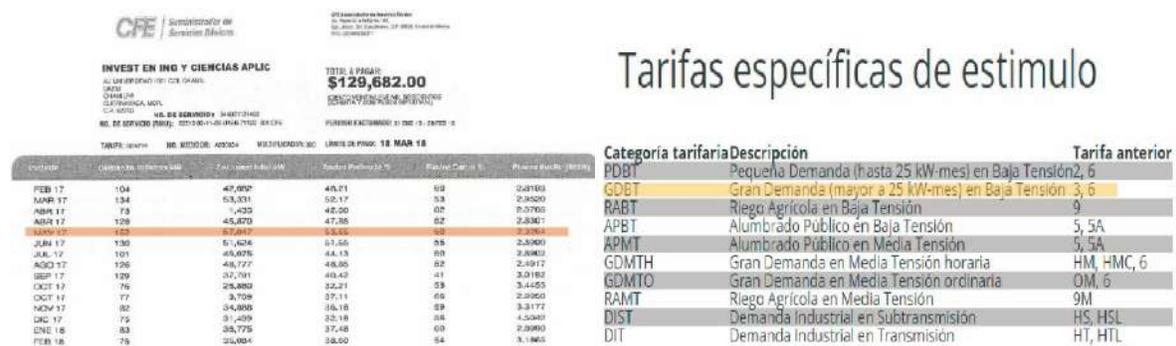


**TOTAL KW/BIMESTRE** 9929.74424

CONSUMO TOTAL DEL EDIFICIO	
Energía	\$ 9,007.1
Cargo fijo	\$ 453 / ZONA CENTRO
IVA	\$ 1,140
<b>TOTAL</b>	<b>\$ 10,600.1</b>

La **figura 2** muestra un consumo total de 9929.74 KW bimestrales del primer edificio, lo que significa un costo total de \$ 10,600 MX. Mientras que de acuerdo a la información obtenida del consumo de energía del CIICAp periodo 31 enero-28 febrero 2018, el consumo de energía eléctrica fue de 61,668 kw/hr con un costo de \$ 129,682 de acuerdo a la región tarifaria, clasificación del edificio, normativa de la CFE y las disposiciones generales actuales de los periodos de punta de consumo para las distintas temporadas del año. Realizando un análisis comparativo del consumo de energía eléctrica por kw/hr bimestre, se obtiene lo siguiente; consumo bimestral en kw/hr del primer edificio 9929.74 kw con un costo total de \$ 10,600MX; mientras que el consumo bimestral del CIICAp estimado es de 123,336 kw con un costo total \$259,364; esto significa que el primer edificio consume un 4% kw/hr bimestre del total del CIICAp. Los indicadores de consumo de energía eléctrica y sus respectivos costos, permiten exponer un acercamiento de los costos de operación de servicios y laborales del primer edificio y del CIICAp en su conjunto. Por una parte se han estimado consumos de energía en promedio normal, pero existen dentro del curso del año consumos pico que elevan el costo total del uso de la energía eléctrica, este servicio es indispensable para el CIICAp es un centro de investigación prioritario debido a que aporta trabajo de investigación científica de tipo local, nacional e internacional lo que hace interesante su actividad académica-científica, por tanto si se busca que este centro de investigación sea sustentable se propone implementar tecnologías que puedan suministrar energía eléctrica a menor costo y que impacte en el medio ambiente; es decir obtener energía a través de paneles solares fotovoltaicos que cubran la necesidad potencial del consumo de la misma a menor costo y que contribuya a las reducciones de emisiones de CO2, además que impacte en el gasto corriente de la universidad y que se transforme como un costo sustentable. Es necesario proyectar un consumo en relación al crecimiento operativo del centro de investigación CIICAp lo que implica planear en el corto, mediano y largo plazo una inversión sustentable en la generación de energía eléctrica limpia, sin olvidar que la presente propuesta se toma como una muestra debido a que se realizó una investigación del consumo de esta energía en el primer edificio para posteriormente implementarlo en todos los edificios de este centro, con ambición de aplicarlo en todas las unidades académicas de la Universidad Autónoma del Estado de Morelos. El centro de investigación crece en la medida de la demanda de investigación, lo que impacta en el proceso del consumo de la energía eléctrica; es decir la capacidad instalada actual rebasa la demanda contratada lo que implica un costo adicional de la misma. La siguiente figura ilustra el historial de consumo y las tarifas específicas de estímulo, en esta se muestra lo antes expuesto.

**Figura 3: Historial de consumos de energía del CIICAp y su clasificación en CFE.**



**Selección de tecnologías**

Una vez obtenida la tarifa vigente del costo kw/hr y el cálculo total de 9929.74 de KW del edificio principal el cual representa un 4% del consumo, más la demanda potencial a corto, mediano y largo

plazo se procede a la selección de la tecnología para cubrir la demanda de kw/hr calculando el número de paneles fotovoltaicos que alimentaran la carga que para este caso se estiman 85 paneles con una potencia de 120 KW cada uno obteniendo un total de 10,200 KW. Esta es una propuesta estimativa de acuerdo al costo de los paneles fotovoltaicos que se encuentran en el mercado actual, pero por ser una institución pública educativa es probable mejorar los mismos.

### **Resultados obtenidos y discusión de los resultados.**

Los análisis realizados en el consumo de los kw/hr del primer edificio son de 9929.74kw con un costo de \$10,600 bimestrales y el CIICAp en su conjunto es de 123,336 kw con un costo de \$259,364 por bimestre respectivamente, estos resultados permiten obtener indicadores tanto económicos como de consumo real de energía eléctrica, para estimar que el proyecto puede ser sustentable si se reducen los costos a través del uso de energías limpias fotovoltaicas; paneles solares con capacidad de 120kw para cubrir la actual demanda de la energía eléctrica en el edificio principal, y así mismo en el CIICAp impactando en la reducción de emisiones de CO2 y en el presupuesto para el consumo de energía eléctrica de la Universidad Autónoma del Estado de Morelos, ya que no existe una implementación tecnológica y sustentable de energías limpias en la misma universidad en cualquiera de sus campus.

### **REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

1. Guía para la Elaboración de Proyectos de Energía Sustentable, Deutsche Gesellschaft für International Zusammenarbeit, International Climate Initiative, México,D.F., Junio del 2015.
2. Ley General de Cambio Climático, Ultima Reforma DOF 19-01-2018, p. 6-43.
3. Estrategia Nacional de Cambio Climático, visión 10-20-40, SEMARNAT, Plan de desarrollo 2013-2018.
4. Norma Oficial Mexicana NOM-001-SEDE-2018, Instalaciones Eléctricas, SENER, Secretaría de Energía.

### 2.5.13 Simulación del proceso de remoción de sulfuro de hidrógeno del biogás mediante absorción.

**Harold Augusto Porras Gallón.** Ingeniero químico, estudiante de posgrado en el centro de investigación en materiales avanzados CIMAV, Programa de maestría en ciencia y tecnología ambiental. (harold.porras@cimav.edu.mx)

**Héctor Alfredo López-Aguilar.** Doctor en ciencia y tecnología ambiental. Centro de investigación en materiales avanzados.

**Jorge Alberto Gómez.** Doctor en ciencia de los materiales. Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, departamento de física y matemáticas.

**Enrique Alberto Huerta Reynoso.** Maestro en ciencia y tecnología ambiental, Universidad Autónoma de Chihuahua, facultad de ciencias químicas.

**Antonino Pérez Hernández.** Centro de investigación en materiales avanzados, Departamento de metalurgia e integridad estructural (Autor correspondiente, celular: +52(614) 439-1101; e-mail: antonino.perez@cimav.edu.mx).

#### RESUMEN.

El aprovechamiento del biogás proveniente de la digestión anaerobia, es una tecnología prometedora que, puede suplir demandas energéticas en diversos sectores de la sociedad. Para ser utilizado como combustible el biogás debe ser tratado, para remover compuestos no deseados, que disminuyen la eficiencia de los equipos y vuelve incluso incosteable su implementación. El sulfuro de hidrógeno ( $H_2S$ ), es una sustancia presente en el biogás que presenta alta reactividad al contacto con la mayoría de los metales, causando corrosión en intercambiadores de calor, tuberías, motores y turbinas. Una concentración de  $H_2S$  mayor a 200 ppm en el biogás afecta la operación, este valor fue la condición técnica límite permisible en la composición del biogás. Se desarrollaron estudios experimentales y de simulación en Aspen Plus™ V8.8, basada en velocidades de la transferencia de masa. Se consideró un gasto de 10 m<sup>3</sup>/h de biogás con 10.000 ppm de  $H_2S$ . Se encontró la factibilidad de la remoción del  $H_2S$ , de la corriente de biogás, mediante la absorción de una solución acuosa de amina primaria en una columna empacada. Su uso mejora la eficiencia del proceso y reduce su impacto ambiental. Se determinó experimentalmente la capacidad de regeneración del absorbente. Obteniendo como producto final una metodología que permita escalar el diseño del sistema de sorción-desorción.

**Palabras claves:** Desulfuración, Monoetanolamina, Aspen Plus, Qumisorción, Ecodiseño.

#### INTRODUCCIÓN.

El aprovechamiento de la biomasa residual, además de ofrecer una solución para su adecuada disposición, es una alternativa factible en la generación de energía. El tratamiento y la gestión de los residuos, son problemas ambientales críticos (Liu et al, 2018). Se ha identificado a la digestión anaerobia (DA), como una solución con mínimos impactos ambientales (Ariunbaatar et al, 2014), además de presentar factibilidad para el aprovechamiento energético del biogás producido (Ledda et al, 2016). Rios y Kaltschmitt reportaron para México un potencial teórico promedio de 167.9 TWh/a, y un potencial técnico alrededor de 10.2 TWh/a para la generación de electricidad a partir del

aprovechamiento del biogás generado en la DA de los residuos orgánicos (Rios, Kaltschmitt, 2016), lo cual representaría el 63.5% de la generación bruta del sector eléctrico nacional (SENER).

La composición principal del biogás, dada la diversidad de fuentes de los residuos orgánicos, es típicamente: 40-75% CH<sub>4</sub>, 25-55% CO<sub>2</sub>, 0-1% H<sub>2</sub>S, 0-3% N<sub>2</sub> y agua hasta saturación (Moreno 2014). El metano es el principal componente de interés energético, ya que su poder calorífico de 35.6 MJm<sup>-3</sup> le otorga propiedades combustibles (de Souza et al. 2013). El resto de los compuestos presentes resultan perjudiciales al proceso de combustión y a los equipos que realizan el aprovechamiento del mismo, causando problemas de corrosión y disminuyendo la eficiencia (Tippayawong, 2010).

La tecnología de absorción con aminas es una alternativa eficiente en la remoción de H<sub>2</sub>S, en concentraciones mayores a 300 ppm en el biogás, además de remover CO<sub>2</sub>. Adicionalmente, presenta la ventaja de regenerar el absorbente, prolongando su vida útil y disminuyendo los problemas relacionados con su disposición (Huertas, Giraldo, & Izquierdo, 2011) (Kidnay, Parrish, 2006).

Por otro lado, los modelos matemáticos predictivos disponibles y las herramientas de simulación computacional se han beneficiado con la continua evolución tecnológica, siendo herramientas que permiten el estudio de fenómenos complejos, como es el caso del endulzamiento de gases (Jassim, 2016) (Moioli et al, 2017) (Cherif et al, 2016).

Majeed S. Jassim realizó un análisis de sensibilidad en el proceso de absorción de H<sub>2</sub>S y CO<sub>2</sub>, mediante una solución acuosa de Metildietanolamina (MDEA) en una columna de etapas de equilibrio, demostró que la velocidad y la concentración del absorbente son parámetros fundamentales en el rendimiento del proceso. La validación de sus cálculos se realizó a partir de comparación con una torre en funcionamiento. Por su parte Stefania Moioli et al., realizaron un análisis del requerimiento energético para la captura de CO<sub>2</sub> de gases de combustión, mediante lavado con Monoetanolamina (MEA) y lo relacionaron con la cantidad de energía necesaria para su regeneración, obtuvieron el perfil de temperaturas a lo largo del absorbedor. Hamadi Cherif et al. desarrollaron un análisis comparativo de resultados experimentales y de simulación basada en velocidades de la transferencia de masa, para la remoción de H<sub>2</sub>S por medio de NaOH en una columna empacada e instalada en una planta piloto de 85 Nm<sup>3</sup>/h, demostraron que la herramienta de simulación es capaz de predecir el fenómeno de absorción. Sin embargo, ninguno de estos trabajos desarrolla el diseño acoplado del sistema de sorción-desorción para la desulfuración.

El objetivo de la presente investigación es desarrollar una herramienta enfocada al ecodiseño de una torre empacada de absorción, para la remoción de H<sub>2</sub>S de una corriente de biogás con MEA, a partir de datos experimentales, modelación matemática y simulación computacional.

## METODOLOGÍA.

# Simulación de procesos.

Se aplicó la herramienta computacional Aspen Plus<sup>TM</sup> V.8.8, para simular la absorción química de los gases ácidos: dióxido de carbono y H<sub>2</sub>S una columna empacada, usando MEA en solución acuosa, figura 1 y tabla 1. La modelación se basó en velocidades de transferencia de masa, donde el mecanismo de remoción ocurre entre las fases en contacto (Taylor et al, 2003). Contrario a la modelación basada en el equilibrio entre las fases en contacto, condición que nunca ocurrirá en una columna real (Cherif et al, 2016). En consideración a la literatura especializada (Cherif, 2016, Moioli 2016, Aspen 2000), se eligió de la base de datos Aspen Plus<sup>TM</sup> el modelo termodinámico eNRTL-RK, el cual hace uso del modelo NRTL para las no idealidades de la fase líquida, de la ecuación de

estado Redlich-Kwong para las propiedades de la fase vapor, y de la ley de Henry para la solubilidad de los gases; bajo el estado de referencia asimétrico o de dilución infinita en solución acuosa para las especies iónicas.

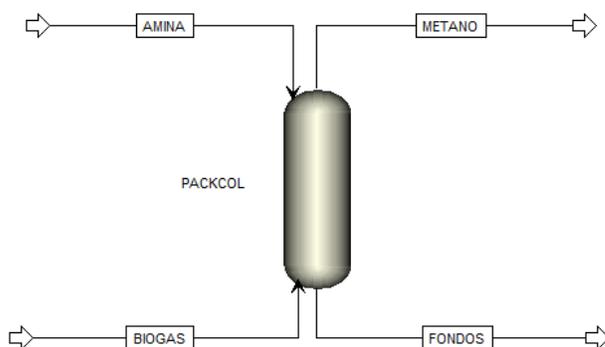


Figura 1 Diagrama de simulación de la columna empacada de absorción.

Tabla 13. Detalles de la columna y corrientes de entrada.

Detalles de la columna			
Diámetro [cm]	7.5		
Tipo de empaque	Anillos Pall		
Tamaño empaque [cm]	2.54		
Material empaque	Plástico		
Altura de empacado [cm]	150		
Corrientes de entrada			
Amina		Biogás	
Temperatura [°C]	30	Temperatura [°C]	30
Presión [Atm]	1	Presión [Atm]	1
Flujo [l/h]	200	Flujo [m <sup>3</sup> /h]	10
Concentración MEA [M]	3	CH <sub>4</sub> [%]	60
		CO <sub>2</sub> [%]	39
		H <sub>2</sub> S [ppm]	10,000

**Ley de Henry.** Se utilizó para calcular la disolución de un compuesto gaseoso en una sustancia líquida, Ecuación 1.

$$C_i = H_{ij} * P_i$$

**Ecuación 1.**

Donde:  $C_i$  Concentración del gas en el líquido.

$H_{ij}$  Constante de Henry.

$P_i$  Presión parcial del gas.

En la tabla 1 se presentan los coeficientes para calcular las constantes de Henry a partir de la ecuación 2. (Cherif 2016)

$$\ln H_{ij} = a_{ij} + \frac{b_{ij}}{T} + c_{ij} \ln T + d_{ij} T + \frac{e_{ij}}{T^2} \quad \text{Ecuación 2.}$$

**Tabla 14 Coeficientes para el cálculo de las constantes de Henry.** (Base de datos Aspen)

Componente i	CH <sub>4</sub>	CO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> S	
Componente j	H <sub>2</sub> O	H <sub>2</sub> O	H <sub>2</sub> O	
Temperatura superior [°C]	79.85	226.85	149.85	
Temperatura inferior [°C]	1.85	-0.15	-0.15	
a <sub>ij</sub>	[N/m <sup>2</sup> ]	195.249	170.713	358.138
b <sub>ij</sub>		-9111.67	-8477.71	-13236.80
c <sub>ij</sub>		-25.0379	-21.9574	-55.0551
D <sub>ij</sub>		0.00014343	0.00578075	0.05956500
E <sub>ij</sub>		0	0	0

**Ecuación de estado Redlich-Kwong.** Se aplicó para calcular las propiedades termodinámicas, de la fase vapor. Ecuación 3. (Redlich and Kwong, 1979).

$$p = \frac{RT}{V_m - b} - \frac{a/T^{0.5}}{V_m(V_m + b)} \quad \text{Ecuación 3.}$$

Donde:  $\sqrt{a} = \sum_i x_i \sqrt{a_i}$

$$b = \sum_i x_i b_i$$

$$a_i = 0.42748023 R^2 T_{ci}^{2.5} / p_{ci}$$

$$b_i = 0.08664035 R T_{ci} / p_{ci}$$

$T_{ci}$  Temperatura crítica del compuesto i  $5 > T_{ci} < 2000$

$P_{ci}$  Presión crítica del compuesto i  $10^5 > P_{ci} < 10^8$

**Modelo termodinámico Non-Random Two Liquid (NRTL).** A partir de este modelo se calcularon los coeficientes de actividad  $\gamma$ . Ecuación 4. (Renon and J.M. Prausnitz, 1968)

$$\ln \gamma_i = \frac{\sum_j x_j \tau_{ji} G_{ji}}{\sum_k x_k G_{ki}} + \sum_j \frac{x_j G_{ij}}{\sum_k x_k G_{kj}} \left( \tau_{ij} \frac{\sum_m x_m \tau_{mj} G_{mj}}{\sum_k x_k G_{kj}} \right) \quad \text{Ecuación 4.}$$

Donde:  $G_{ij} = \exp(-\alpha_{ij} \tau_{ij})$

$$\tau_{ij} = a_{ij} + \frac{b_{ij}}{T} + e_{ij} \ln T + f_{ij} T$$

$$\alpha_{ij} = c_{ij} + d_{ij}(T - 2173.15K)$$

$$\tau_{ii} = 0$$

$$G_{ii} = 1$$

En la tabla 3, se presentan los parámetros del modelo NRTL de la ecuación 4.

**Tabla 15 Parámetros binarios del modelo NRTL. Fuente: Base de datos Aspen (ADB).**

<b>Componente i</b>	CO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> S	MEA	CO <sub>2</sub>
<b>Componente j</b>	H <sub>2</sub> O	H <sub>2</sub> O	H <sub>2</sub> O	H <sub>2</sub> S
<b>Temperatura superior [°C]</b>	200	150	150	20.32
<b>Temperatura inferior [°C]</b>	0	0	25	-48.296
<b>a<sub>ij</sub></b>	10.064	-3.674	-1.046602	-1.18725
<b>a<sub>ji</sub></b>	10.064	-3.674	1.438498	-0.0808284
<b>b<sub>ij</sub></b>	-3268.135	1155.9	-337.5456	382.192
<b>b<sub>ji</sub></b>	-3268.135	1155.9	99.02104	227.12
<b>c<sub>ij</sub></b>	0.2	0.2	0.2	0.499997
<b>d<sub>ij</sub></b>	0	0	0	0
<b>e<sub>ij</sub></b>	0	0	0	0
<b>e<sub>ji</sub></b>	0	0	0	0
<b>f<sub>ij</sub></b>	0	0	0	0
<b>f<sub>ji</sub></b>	0	0	0	0

**Reacciones químicas:** Se presentan en las ecuaciones 5 y 6. Al ser reacciones de equilibrio cumplen con la ecuación de Arrhenius, expresada en su forma linealizada en la ecuación 7, sus parámetros se presentan en la tabla 4. (Murrieta, 2000)



$$\ln K_{eq} = A + BT + C \ln T \quad \text{Ecuación 7.}$$

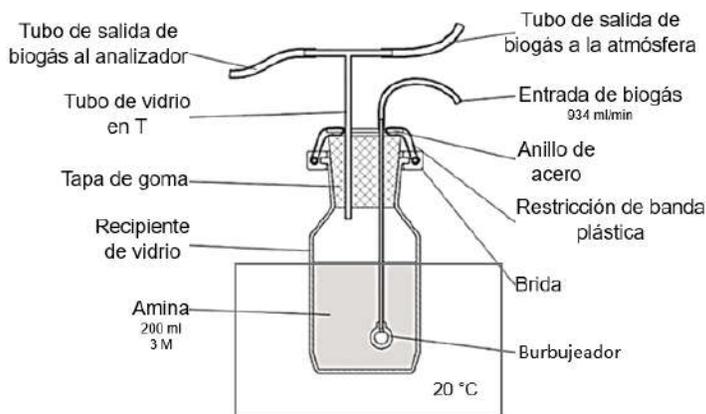
**Tabla 16 Parámetros de la ecuación de Arrhenius para cada reacción.**

	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>Fuente</b>
<b>Ecuación 5</b>	-16.281	6116.93	0	Murrieta 2000
<b>Ecuación 6</b>	-3.447	1999.16	0	Murrieta 2000

## Experimentación con aminas.

Se realizaron dos metodologías experimentales para el estudio del fenómeno de sorción-desorción y la estimación del tiempo de vida del sistema de remoción.

En la primera metodología, se determinó la capacidad de absorción de H<sub>2</sub>S por medio de una solución acuosa de MEA una concentración 3M. Se burbujeó un gas estándar como se muestra en la figura 2, con varias concentraciones H<sub>2</sub>S de 2090, 1780 y 1510 ppm, con un flujo de 934 ml/min en 200 ml de la solución de MEA manteniéndose a 20°C. La composición del gas a la salida fue medida con el analizador de gases portátil COMBIMASS® GA-m binder.



**Figura 2 Diagrama experimento de absorción.**

Mediante el software CurveExpert Professional V 2.6.5, se realizó el ajuste a un modelo sigmoideal de los datos experimentales de absorción obtenidos, presentado en la ecuación 8.

$$y = \frac{a}{1 + be^{-cx}}$$

**Ecuación 8.**

Dónde:  $y$  Concentración de H<sub>2</sub>S en ppm en el gas de salida.

$a, b, c$  Coeficientes de ajuste al modelo.

$x$  Tiempo transcurrido en minutos.

Con la segunda metodología experimental se buscó analizar el fenómeno de desorción. Se compararon 57 gramos de una muestra de solución de amina sin ser sometida al proceso de absorción con una muestra de igual masa de amina saturada, en las pruebas de absorción, ambas muestras se sometieron a una rampa de temperatura de +2°C/min en rango de 30-100°C, en el calorímetro adiabático de búsqueda de reacción APTAC-264 NETZSC. Posteriormente, se sometió solo una muestra de la amina saturada al modo heat-wait-search en el mismo calorímetro. Figura 3.

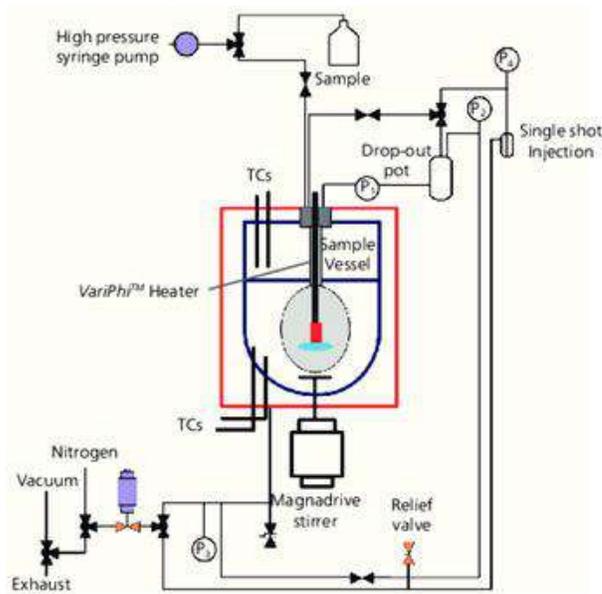


Figura 3 Diagrama APTAC [27].

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

# Simulación de procesos.

En la tabla 5 se observan los resultados obtenidos en la simulación como las concentraciones de salida en las fases líquida y vapor, y condiciones operacionales de la columna de absorción. Se encontró que un valor de alta fracción de vacío de 90%, debida a los empaques utilizados dentro de la columna, disminuye la caída de presión dentro del sistema y requiere una menor cantidad de energía para hacer fluir el gas de forma ascendente.

**Tabla 17 Detalles operacionales de columna y corrientes de salida.**

Detalles de la columna			
Etapas	10		
Longitud [m]	1.5		
$\Delta P$ promedio [Pa/m]	57.86		
$\Delta P$ total [Pa]	86.79		
Fracción de vacío.	0.9		
Área superficial empaque [m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup> ]	205		
Corrientes de salida.			
Metano		Fondos.	
CH <sub>4</sub> [%]	94.4	CH <sub>4</sub> [%]	1.6
CO <sub>2</sub> [%]	1.07	CO <sub>2</sub> [%]	0.57
H <sub>2</sub> S [ppm]	67.7	H <sub>2</sub> O [%]	92.2
MEA [ppm]	13.75	MEA [%]	3.6
H <sub>2</sub> O [%]	4.5	Temperatura [°C]	48
Temperatura [°C]	32.4	Presión [Atm]	1
Presión [Atm]	1	Flujo [l/h]	225.4
Flujo [m <sup>3</sup> /h]	2.1	Fracción líquida	1
Fracción de vapor	1		

De las relaciones empleadas de  $L_{col}/D_{col}=20$  y  $F_{gas}/F_{liquido}=50$  fué posible obtener las condiciones hidráulicas que permitieron un incremento superior al 57% en la concentración del metano. Esto es debido a una eficiencia de remoción superior al 99% de H<sub>2</sub>S y superior al 97% de CO<sub>2</sub>. Estos valores concuerdan con los resultados experimentales obtenidos por Tippayawong, N. y Thanompongchart, P., que reportan remociones superiores al 90% usando MEA como absorbente con una columna empacada de 1 metro de largo con 7 cm de diámetro ( $L_{col}/D_{col} = 14$ ). En su trabajo no reportaron valores para los flujos de gas y líquido (Tabla 6).

**Tabla 18 Comparación de resultados de simulación y experimentales reportados.**

	Simulación *	Experimental **
$F_{gas}$ [m <sup>3</sup> /h]	10	N.R.
$C_i^{CH_4}$ [%]	60	53,1
$C_i^{H_2S}$ [ppm]	10000	2150
$C_i^{CO_2}$ [%]	39%	47%
$C^{MEA}$ [mol/l]	3	0,1
$F^{liquido}$ [l/h]	200	N.R.
$L^{col}$ [m]	1,5	1
$D^{col}$ [cm]	7,5	7
$C_f^{CH_4}$ [%]	94%	98%
$C_f^{H_2S}$ [ppm]	67,7	0
$C_f^{CO_2}$ [%]	1,07	1,3

\* Resultados obtenidos por nuestro modelo en este trabajo  
 \*\* Tippayawong, N.; Thanompongchart, P. (2010). Biogas quality upgrade by simultaneous removal of CO<sub>2</sub> and H<sub>2</sub>S in a packed column reactor

En la figura 4 se confirma el funcionamiento de la columna simulada, la remoción de  $\text{CO}_2$  y  $\text{H}_2\text{S}$  ocasiona un aumento en la concentración de  $\text{CH}_4$ .

En la figura 5 se observa el incremento de temperatura en la fase líquida a la salida de la columna (Fondos -Etapa 10), que es donde ocurren las reacciones exotérmicas entre la MEA y los gases ácidos.

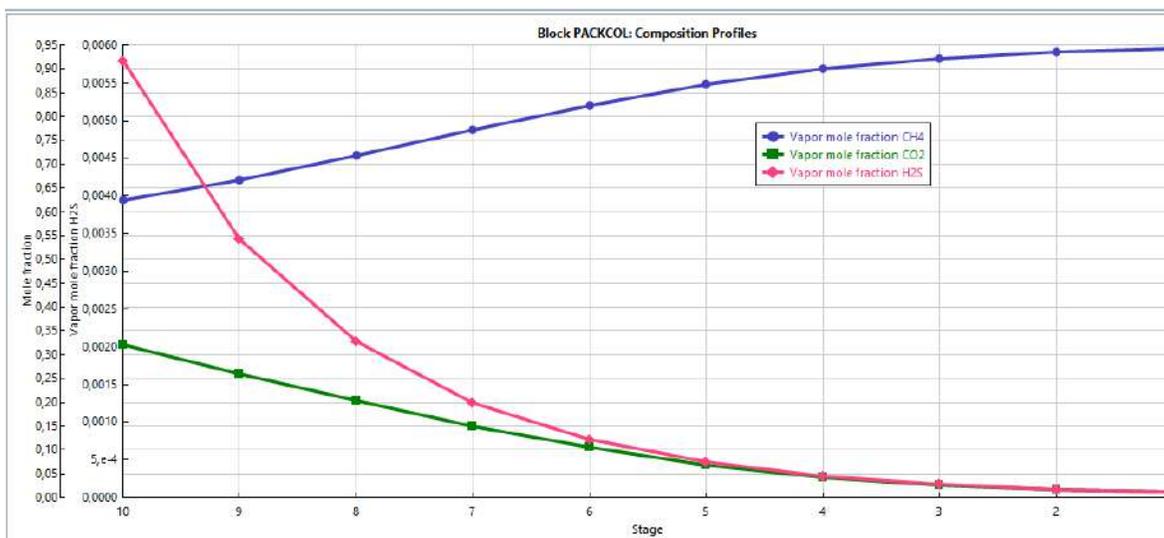


Figura 4 Variación de la composición en la fase vapor a lo largo de la columna.

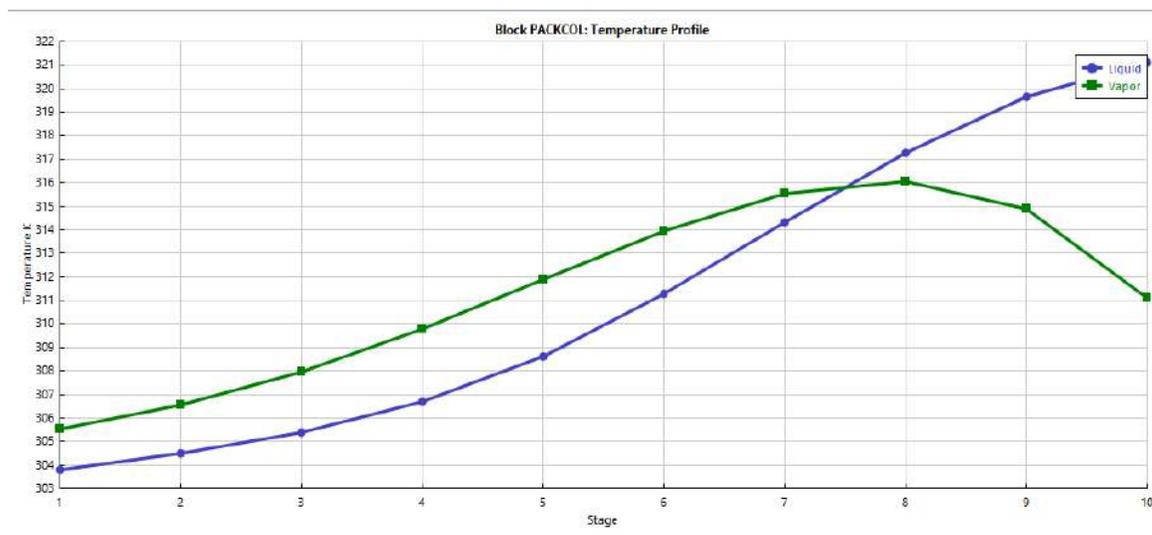


Figura 5 Perfil de temperaturas a lo largo de la columna de absorción.

Es posible reconocer la necesidad de realizar la validación de las simulaciones a nivel laboratorio donde puedan ser controladas las variables a las que presenta mayor sensibilidad el fenómeno, lo que permita obtener un modelo matemático práctico y parámetros claves para el diseño del proceso de regeneración de la solución acuosa de amina utilizada como absorbente.

## Experimentación.

En las figuras 6, 7 y 8 se observan los experimentos de saturación de la MEA/H<sub>2</sub>S-CO<sub>2</sub>. Se observa que tomando como referencia una concentración promedio de salida de 100 ppm, el punto de saturación se alcanza en 20 min. En la tabla 7 se muestran los parámetros obtenidos por medio de un ajuste de regresión de un modelo sigmoideal.



Figura 6 Ajuste de datos para la concentración inicial de 2090 ppm H<sub>2</sub>S.



Figura 7 Ajuste de datos para la concentración inicial de 1780 ppm H<sub>2</sub>S





Figura 8 Ajuste de datos para la concentración inicial de 1510 ppm H<sub>2</sub>S.

Tabla 19 Parámetros de ajuste al modelo y coeficientes de correlación para cada experimento.

Parámetros			
C <sub>i</sub> <sup>H<sub>2</sub>S</sup> [ppm]	2090	1780	1510
A	2.66432758932200E+03	2.25943577505717E+03	1.78129096416881E+03
B	9.80737722775533E+02	3.83566708446365E+02	5.93013821671510E+02
C	2.06901627940767E-01	1.43535658611593E-01	1.78093771956849E-01
R	0.969	0.997	0.998

En las figuras 9 y 10, se muestran los resultados correspondientes al análisis térmico comparativo entre una amina saturada y una insaturada, y en las ecuaciones 5 y 6 se exponen las reacciones reversibles que rigen a las reacciones MEA/H<sub>2</sub>S-CO<sub>2</sub>. En la MEA insaturada se observa el incremento de la temperatura respecto al tiempo de manera monótonamente creciente, mientras que en la MEA saturada se identificó un escalón incremental en la temperatura (entre 50 °C a 95 °C) que está relacionada con la desorción del H<sub>2</sub>S de la MEA. La gráfica de variabilidad, presentada en la figura 11, confirmó el valor de temperatura a la cual comienza la desorción, exponiendo una variación considerable en la temperatura del sistema respecto a la amina insaturada.

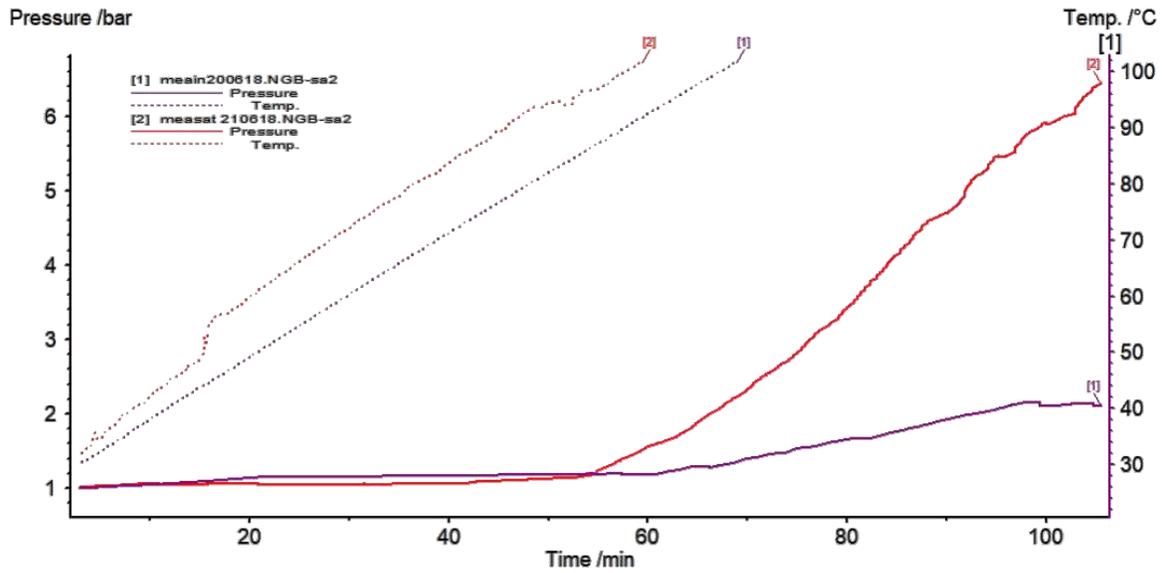


Figura 9 Comportamiento térmico y de presión de [1] MEA insaturada y [2] MEA saturada en calorímetro APTAC 264.

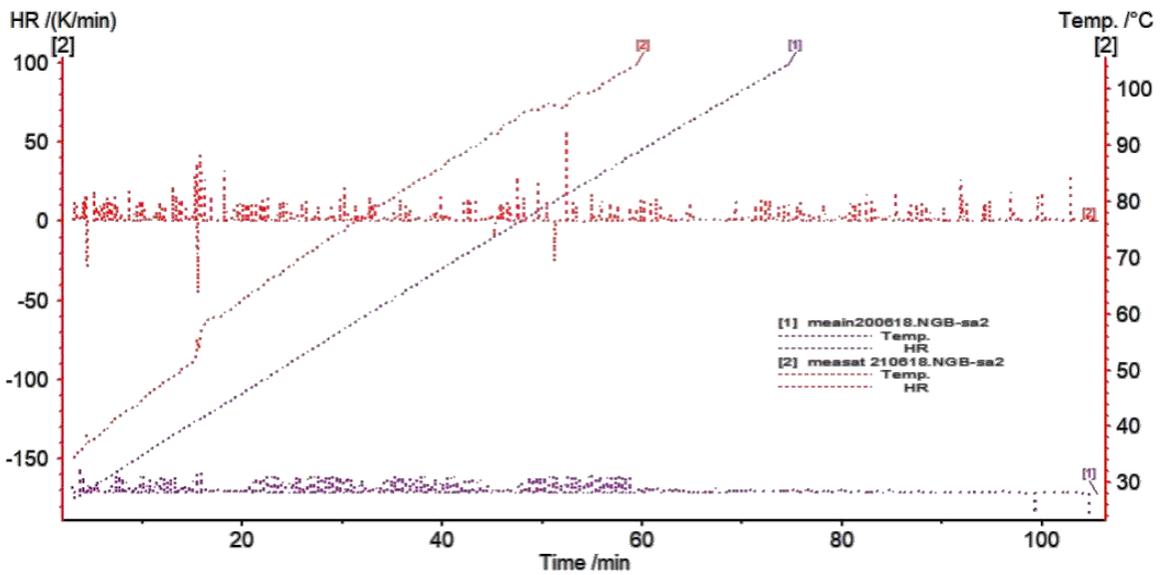
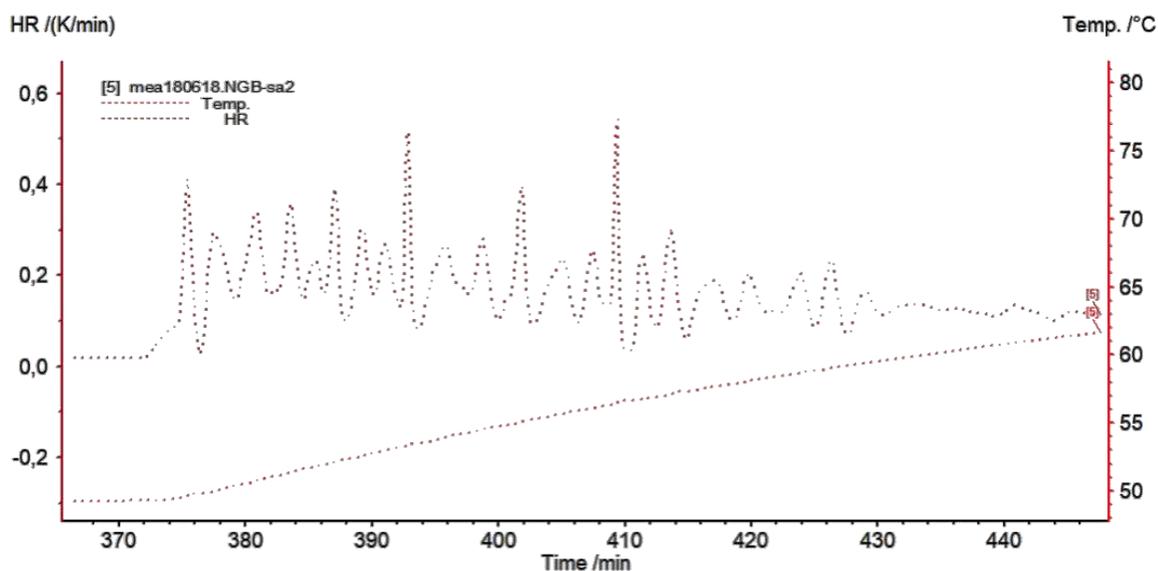


Figura 10 Comportamiento térmico y su diferencial (HR) de [1] MEA insaturada y [2] MEA saturada en calorímetro APTAC 264.



**Figura 11** Comportamiento térmico y su derivada (HR) de [1] MEA insaturada y [2] MEA saturada en calorímetro APTAC 264 modo Heat wait search.

## CONCLUSIONES.

Se encontró que es posible alcanzar la concentración de  $H_2S$  deseada en la corriente de biogás, bajo las condiciones de simulación. Sin embargo, es necesario validar los resultados la simulación de forma experimental.

El modelo de simulación del proceso de absorción química en torre empacada desarrollado demostró ser una herramienta útil que permite estimar otras condiciones de operación para el escalamiento del proceso. Los resultados obtenidos brindan información acerca de las propiedades y el comportamiento del fenómeno de absorción, los cuales pueden tener utilidad en decisiones ingenieriles para mejorar el proceso.

A partir de experimentación, se identificó el tiempo de saturación del filtro empacado y el rango de temperaturas donde se lleva a cabo la desorción o regeneración del absorbente. Se encontró que la temperatura de los fondos está cerca a la temperatura de desorción, por lo cual es indispensable disminuir la temperatura en la corriente líquida entrante a la torre

Los parámetros encontrados en la presente investigación, permiten el ecodiseño del sistema de remoción de contaminantes, con mínimo impacto ambiental al minimizar la generación de residuos, así como su escalamiento industrial.

## AGRADECIMIENTOS.

A la secretaria de energía SENER y al consejo nacional de ciencia y tecnología CONACyT, por su apoyo a través del proyecto 243715. Al Dr. Samuel Pérez, facultad de ciencias químicas de la UACH y al Centro de Investigación en Materiales Avanzados CIMAV.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

1. **Aboudheir, A.; Tontiwachwuthikul, P.; Chakma, A.; Idem, R.** (2003). Kinetics of the reactive absorption of carbon dioxide in high CO<sub>2</sub>-loaded, concentrated aqueous monoethanolamine solutions.
2. **Alper, E.** (1990). Reaction mechanism and kinetics of aqueous solutions of 2-amino-2-methyl-1-propanol and carbon dioxide. *Industrial and Engineering Chemistry Research* 29, 1725–1728.
3. **Ariunbaatar, J.; Panico, A.; Esposito, G.; Pirozzi, F.; Lens, P.** (2014). Pretreatment methods to enhance anaerobic digestion of organic solid waste.
4. Aspen Physical Property Models 2006.
5. Aspen Physical Property System 2001.
6. **Chen, C.; Song, Y.** (2004). Generalized Electrolyte-NRTL Model for Mixed-Solvent Electrolyte Systems.
7. **Cherif, H.; Coquelet, C.; Stringari, P.; Clodic, D.; Pellegrini, L.; Moioli, S.; Langé, S.** (2016). Experimental and Simulation Results for the Removal of H<sub>2</sub>S from Biogas by Means of Sodium hydroxide in Structured Packed Columns.
8. **De Souza, S.N.M.; Werncke, I.; Marques, C.A.; Bariccatti, R.A.; Santos, R.F.; Nogueira C.E.C.; Bassegio, D.** (2013). Electric energy micro-production in a rural property using biogas as primary source.
9. Energy Access Outlook 2017. (2017). World Energy Outlook Special Report.
10. **Huertas, J., Giraldo, N., & Izquierdo, S.** (2011). Removal of H<sub>2</sub>S and CO<sub>2</sub> from biogas by amine absorption. En J. Marko A, Mass transfer in chemical engineering processes. México: Intech.
11. **Jassim, M.S.** (2016). Sensitivity analyses and optimization of a gas sweetening plant for hydrogen sulfide and carbon dioxide capture using methyldiethanolamine solutions.
12. **Kidnay, A.J.; Parrish, W.R.** (2006). Fundamentals of Natural Gas Processing.
13. **Kucka, L.; Richter, J.; Kenig, E.Y.; Górak, A.** (2003). Determination of gas - liquid reaction kinetics with a stirred cell reactor.
14. **Liu, X.; Hewings, G.J.D.; Wang, S.** (2018). Evaluating the impacts of waste treatment management modes on each sector's price in a macro economic system.
15. **Ledda, C., Schievano, A., Scaglia, B., Rossoni, M., Ación Fernández, F. G., & Adani, F.** (2016). Integration of microalgae production with anaerobic digestion of dairy cattle manure: an overall mass and energy balance of the process. *Journal of Cleaner Production*, 112, 103–112. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.07.151>
16. **Moioli, S.; Nagy, T.; Langé, S.; Pellegrini, L.A.; Mizsey, P.** (2017). Simulation Model Evaluation of CO<sub>2</sub> Capture by Aqueous MEA Scrubbing for Heat Requirement Analyses.
17. **Moreno, B.** (2014). Purificación de biogás con tecnologías de producción limpias, 1, 5-6.
18. **Murrieta, F.; Rebolledo, M.E.; Romero, A.; Trejo, A.** (2000). Gas-liquid equilibrium of H<sub>2</sub>S and CO<sub>2</sub> in binary mixtures of monoethanolamine and diethanolamine with physical solvents.
19. **Redlich, O.; Kwong, J.N.S.** (1979). "On the Thermodynamics of Solutions V. An Equation-of-state Fugacities of Gaseous Solutions," *Chem. Rev.*, Vol. 44, (1979), pp. 223 – 244.
20. **Renon, H.; Prausnitz, J.M.** (1968). "Local Compositions in Thermodynamic Excess Functions for Liquid Mixtures," *AIChE J.*, Vol. 14, No. 1, (1968), pp. 135 –144.
21. **Rios, M., & Kaltschmitt, M.** (2016). Electricity generation potential from biogas produced from organic waste in Mexico. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 54, 384-395
22. **Sadighi, S.; Reza, S.; Mohaddecy, S.** (2017). Process simulation and optimization of catalytic reactors of sulfur recovery unit (SRU) via Aspen Plus.
23. SENER. Estadísticas del sector eléctrico / Generación bruta de energía eléctrica <http://egob2.energia.gob.mx/portal/electricidad.html>.
24. **Taylor, R.; Krishna, R.; Kooijman, H.** (2003). Real-World Modeling of Distillation.

25. **Tippayawong, N.; Thanompongchart, P.** (2010). Biogas quality upgrade by simultaneous removal of CO<sub>2</sub> and H<sub>2</sub>S in a packed column reactor.

26. **Vaidya, P.D.; Kenig E.Y.** (2007). CO<sub>2</sub>-Alkanolamine Reaction Kinetics: A Review of Recent Studies.

<http://lmstech.demo205.trust.vn/en/aptac-264-automatic-pressure-tracking-adiabatic-calorimeter.htm>

## 2.6 TECNOLOGÍAS ANCESTRALES Y ECODISEÑO

### **2.6.1 Análisis del impacto ambiental (huella de carbono) por reubicación de productora de panel SIP para construcción.**

#### **Gerardo J. Arista González.**

Arquitecto por la Facultad del Hábitat, UASLP., Maestro en Valuación por la UNIVA, unidad León, Doctor en Arquitectura, programa DADU, Doctorado en Arq., Diseño y Urbanismo, UAEM Morelos.

#### **Jorge Aguillón Robles**

Arquitecto por la Facultad del Hábitat, UASLP., Maestro en Diseño Bioclimático por la, Universidad de Colima, Doctorante del PIDA, Programa Interinstitucional en Diseño y Arquitectura, U. de Colima.

#### **Andrea Cesar Barba**

Arquitecta egresada de la Facultad del Hábitat, UASLP.

Niño Artillero 150, Zona Universitaria, San Luis Potosí, S.L.P. C:P: 78140, garista @fh.uaslp.mx

### **RESUMEN**

La industria de la construcción es uno de los sectores con mayor actividad en los países desarrollados. Las edificaciones consumen entre el 45% y 60% de los materiales extraídos de la superficie terrestre y son causantes de aprox. el 50% de las emisiones emitidas a la atmósfera. Las construcciones pueden alcanzar un peso de hasta 2,500 kg. por m<sup>2</sup>, por lo cual resulta significativo los volúmenes de extracción de materias primas, su transformación, transporte, colocación y disposición final al finalizar su vida útil. El desafío que este panorama nos presenta debe ser enfrentado por la sociedad actual a manera de no trasladar el problema a futuras generaciones. Con relación a la construcción se deberán tomar en cuenta todos estos aspectos y se deberán de llevar a cabo toma de decisiones en los que se debe asumir la responsabilidad ambiental. El presente documento tiene como propósito llevar a cabo una reflexión sobre la correspondencia entre el ciclo de vida de los materiales utilizados en la construcción y el medio ambiente, la selección de materiales y evaluación de los impactos ambientales generados y las posibilidades de uso de otros materiales con menor impacto ambiental para las nuevas edificaciones.

**PALABRAS CLAVE:** Análisis del impacto ambiental, Huella de carbono, Panel SIP.

## INTRODUCCION

En el 2007, en un reporte sobre el cambio climático y reducción de gases de efecto invernadero, de la revista de negocios Mckinsey Quaterly, publicó que mejorar la eficiencia energética de los edificios mediante un mejor aislamiento térmico, sería de los impactos más efectivos en la lucha contra el cambio climático (Scientists, Federation of American, 2009). El Panel SIP (Structural Isolated Panels) es un sistema estructural creado en 1937 por la mano derecha del arquitecto Frank Loyd Wright en Estados Unidos y que se usa en 17 países más para elaborar muros y losas estructurales y como material aislante. El sistema se basa en paneles prefabricados que en sus inicios solo eran de lámina de madera al exterior y poliestireno al interior a manera de sándwich y que hoy en día se fabrican sustituyendo la madera por fibrocemento, lo que se conocen en el mercado como “*Paneles Duratherm*”.

El fibrocemento se basa en los principios del concreto armado. En lugar del acero se usan fibras mientras que el cemento opera como el elemento endurecedor, las gravas y arenas le proporcionan la capacidad de la compresión. “En la matriz de fibrocemento existen varias tecnologías; algunas que se utilizan para curado acelerado, en donde los productos son curados en auto claves. Ese proceso requiere de ciertas reacciones de dos elementos fundamentales: el cemento y la arena sílica; pero existe la otra tecnología, la que se refiere al curado natural o al ambiente en donde el cemento es el que juega el papel principal. Esto quiere decir que la parte de las fibras representa entre 3 y 8.5% de la composición total. Existe tal variación debido a las cualidades de cada fibra, pues no será lo mismo utilizar las fibras minerales de crisotilo extraídas de l minas, que las de celulosa o las sintéticas como el poliácridonitrilo, el polivinil alcohol o el polipropileno, que normalmente aportan entre el 2 y el 3.5% del total del peso de la matriz que se formule.

El Poliestireno Expandido o EPS es un material plástico espumado utilizado en el sector de la construcción, principalmente como aislamiento térmico y acústico, en el campo del envase y embalaje para diferentes sectores de actividad y en una serie de aplicaciones diversas. El poliestireno expandido, se define técnicamente como: “*Material plástico celular y rígido fabricado a partir del moldeo de perlas pre-expandidas de poliestireno expandible o uno de sus co-polímeros, que presenta una estructura celular rellena de aire*”. Éste se obtiene a partir de la transformación del poliestireno expandido.

El uso de SIP tiene diferentes ventajas, la velocidad en que se realizan las edificaciones utilizando el sistema es una de ellas, pues se puede hacer una edificación en 6 días, lo que significa para el beneficiario o desarrollador en recuperar su inversión en un corto plazo, el usuario final en el costo de oportunidad de disfrutar el bien y el ahorro en rentas. El ahorro energético puede calcularse mediante su envolvente térmica. En lugares con temperaturas altas, una casa aislada aumenta la calidad de vida del usuario sin necesidad de invertir dinero en aire acondicionado, lo que representa un menor consumo de energía eléctrica. Otra de sus ventajas es que los residuos generados por el sistema en el momento de la edificación son mínimos, lo que aparte de ser más respetuoso con el medio, permite realizar los trabajos de urbanismo, jardinería y exteriores.

El sistema SIP, también es resistente a terremotos y huracanes, ya que sólo pesa el 10% de una edificación realizada con el sistema de construcción tradicional, haciendo posible construcciones en lugares donde los suelos carecen de propiedades para edificación, ya que recibe 90% menos carga que una construcción con el sistema tradicional. Al ser un sistema prefabricado, estructural, aislado

y ligero le permite al constructor hacer una edificación donde no hay infraestructura de accesos para hacer llegar todos los materiales que con el sistema SIP, no son necesarios.

### PANELES DURATHERM SIP

El sistema SIPS se introdujo a México por la empresa Duratherm Bulding Systems, y certificado por el ONNCCE (Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación s.c.) Como se muestra en la Figura 1, los "Paneles Durathermsip" son fabricados a base de dos paneles planos de fibrocemento adheridos a ambas caras del poliestireno expandido (EPS) de alta densidad, unidos mecánicamente a largueros horizontales y verticales de madera tratada, recubiertos de basecoat, que es una pasta para el tratamiento de juntas, de gran plasticidad y adherencia.



**Figura 1.- Colocación de muros estructurales en una edificación con el sistema SIPS.**

Son aplicables en muros, techos y entrepisos estructurales, mismos que consisten en paneles de fibrocemento de espesor de 8 mm o mayores, unidos a ambas caras de un núcleo de poliestireno expandido (EPS) de densidad específica que puede ser desde 16 kg/m<sup>3</sup> o más y otras características determinadas, adherido con un pegamento a los paneles de fibrocemento y operando en conjunto como un elemento que crea una pieza monolítica.

Para muros, techos y entrepisos son ensamblados con tornillos o pijas para madera o metal de 1/4" de acero galvanizado con avellanador entre cada quince a veinte centímetros a elementos estructurales como duelas, largueros o postes de madera, previamente impregnado con adhesivo de montaje para construcción de trabajo pesado, los techos y entrepisos son asegurados con tornillería que están específicamente diseñados para la fijación de los paneles, en siete u ocho pulgadas y armando convenientemente una estructura de construcción sólida. Cada pieza para muro, techo y entrepiso incluye un conducto a lo largo y dos a lo ancho para facilitar las instalaciones eléctricas.

Los Paneles de Fibrocemento maxipanel y/o cempanel utilizados en la fabricación de "Durathermsips" son paneles de dimensiones nominales 1.22 m x 2.44 m, de 1.22 m x 3.05 m y de 1.22 m x 3.66 m en 8 mm de espesor o mayores, espesores que pueden eventualmente ajustarse a cada proyecto, estos paneles estrictamente planos y cortes a escuadra, de superficie semi rugosa, lisos o con textura o grabados, están compuestos de fibras de celulosa, arena sílica, cemento, otras materias

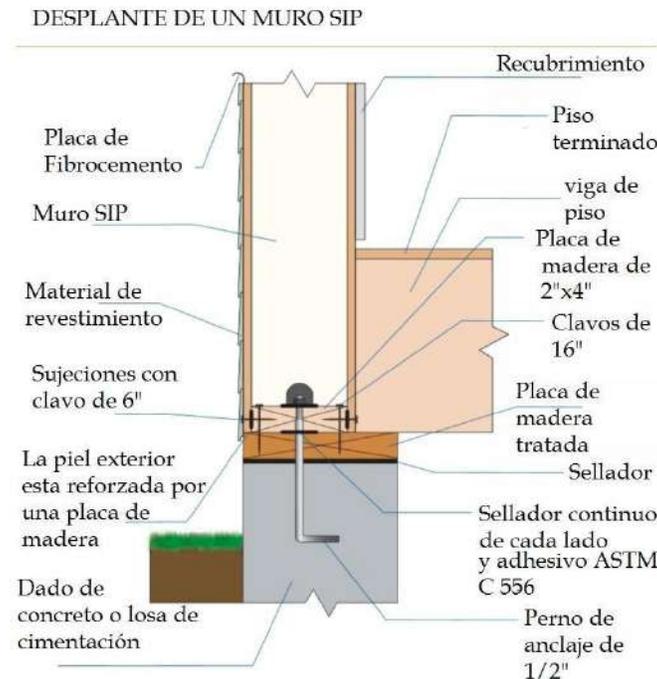
primas y curados en autoclave, son debidamente almacenados bajo techo antes de su empleo, manteniendo máxima estabilidad en su estado ambiente, sin afectar sus características originales o a su fabricación.

Los Paneles están fabricados de acuerdo a la norma NMX C 234 – ONNCCE – 2006 “*Láminas Planas sin comprimir NT*” para aplicaciones exteriores en Categoría 3 Tipo A con un Módulo de Ruptura de 13 MPa (132.56 Kgf/cm<sup>2</sup>), estos paneles son también exportados y cumplen las normas ASTM C-1185, ASTM C-1186, ASTM C-1288. Son certificados de acuerdo al ICC-ES Evaluation Report ESR – 1381 y clasificados “no combustibles” de acuerdo a ASTM E 136, el fabricante acompaña cada embarque con su certificado de calidad.

Cada pieza para muro, techo o entrepiso incluyen un diseño para facilitar las instalaciones eléctricas. Las preparaciones hidráulicas sanitarias deben instalarse durante la preparación para la construcción de los cimientos o bien considerar estas instalaciones de acuerdo a las necesidades del proyecto constructivo, por las características del material es posible que se realicen las instalaciones dentro de los muros o de preferencia a través de un gabinete de servicios hidráulicos.

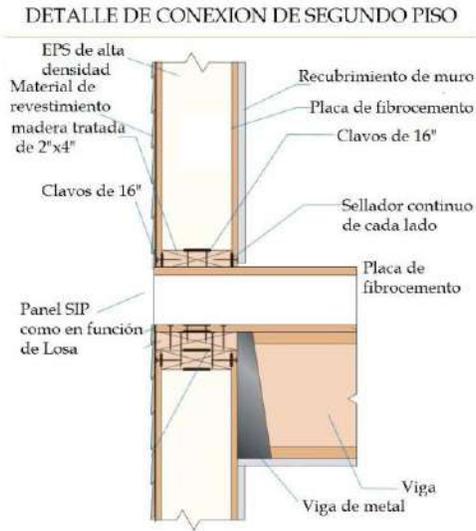
Cuando se diseña un proyecto que se construirá utilizando el sistema de construcción SIP, es muy importante tener en cuenta que es un sistema modular. Los paneles son enviados desde la planta de fabricación en diferentes medidas “*estándar*”, que son múltiplos de 1.22 mts. Se debe tomar en cuenta estas medidas, desde la etapa de diseño, lo que ayuda a tener un mejor aprovechamiento del material y una disminución importante en la generación de desperdicios.

Realizar una construcción con el sistema estructural SIP es sumamente sencillo y rápido. Si el proyecto especifica la modulación y aprovechamiento de paneles, el proceso se torna mucho más sencillo y disminuye el margen de error. Una vez que el material se encuentra en sitio, sólo se necesita unir las diferentes piezas como si fuese un “*juego de lego*”. En la Figura 2, se muestra gráficamente la manera en la que se desplanta un muro SIP.

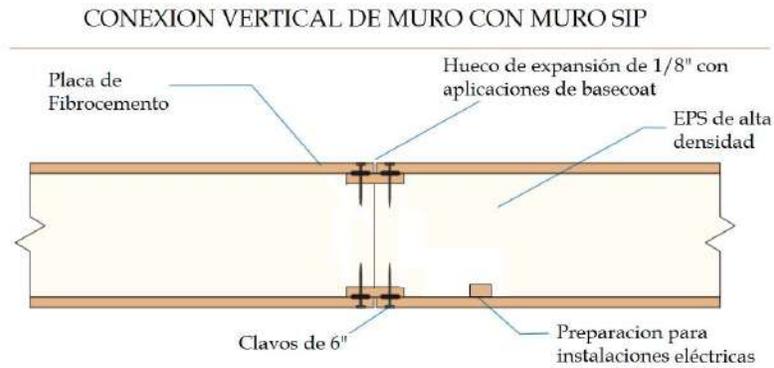


**Figura 2.- Desplante de muro de panel SIP desde una losa de cimentación.**

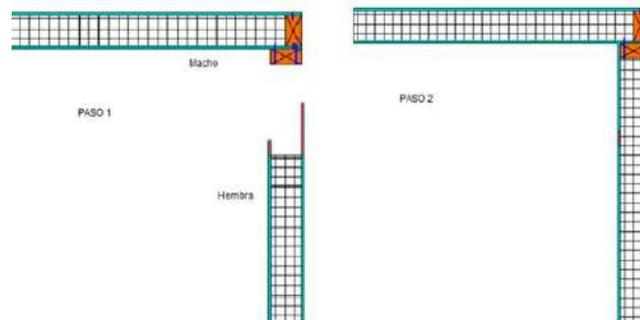
En la Figuras 3, 4 y 5 se muestran detalles de conexión de muros del sistema SIP con losa de entrepiso, unión de paneles SIP en línea y la unión de paneles en escuadra, respectivamente



**Figura 3.- Detalle de conexión en losa de entrepiso.**



**Figura 4.- Unión muro-muro estructural de panel SIP en forma lineal.**



**Figura 5.- Unión muro-muro estructural de panel SIP en esquina.**



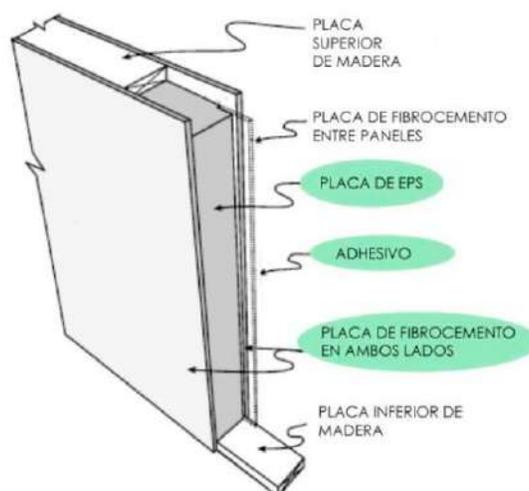
Este estudio surge de la propuesta de utilizar el panel SIP, que sustituye al muro tradicional y pretende explorar los diferentes procesos que se llevan a cabo en su producción y distribución, proponiendo alternativas y estrategias de transporte para disminuir su impacto en el medio ambiente. El alcance incluye la unidad funcional, los límites del sistema, y la metodología de evaluación de impacto así como la subsecuente interpretación a utilizar, la calidad de los datos obtenidos como la vigencia, cobertura geográfico, vigencia tecnológica, precisión y representatividad.

El muro es un elemento muy importante tanto en el diseño como en la construcción, cuya función inmediata es delimitar un espacio, muchas veces cumple la función de elemento soportante, otras funciona simplemente como elemento separador de espacios o como barrera entre un espacio exterior y uno interior, protegiéndonos de la intemperie y generando un microclima distinto.

La unidad funcional debe incluir una función expresada en verbo, del comportamiento o características y una referencia temporal como la vida útil o frecuencia de uso. *“Separar un espacio Interior con 1 Panel estructural SIP, sin mantenimiento, durante un periodo de 60 años”*. A partir de la unidad funcional, se calcula el flujo de referencia, que se refiere a la cantidad de producto necesaria para cumplir con la unidad funcional, es decir, el rendimiento del producto. La tabla 1 muestra las cantidades de materia prima consideradas en el análisis para cumplir con la unidad funcional.

**Tabla 1. Flujo de referencia, para satisfacer la unidad funcional.-**

Recopilacion Datos en funcion a la unidad Funcional 3 m2, 83.29 kg				
Materiales	Cantidad	Unidad	Cantidad	Unidad
Placa de Fibrocemento	6	m2	78.23	kg
Placa de EPS	3	m2	5.06	kg
Adhesivo	8.50E-04	m3	0.8245	kg
Energia				
Electricidad	143.88	MJ	39.97	kwh



**Figura 6.- Componentes principales del Panel SIP**

## DISTRIBUCIÓN DEL PANEL SIP EN MÉXICO

Como anteriormente se menciona en el objetivo, en el estudio se analizan diferentes posibilidades de relocalización de la planta productora de Panel SIP para distribuirlo a localidades del Estado de México, a Monterrey y a Guadalajara. A continuación se presenta una tabla con el total de acciones de vivienda a construirse en el Estado de México, Jalisco y Nuevo León, durante un año.

**Tabla 2.- Datos de RUV INFONAVIT Vivienda Nueva (Junio 2012- Mayo 2014).**

Entidad	Vivienda en Proceso	Vivienda Terminada	Sin			Total
			Reporte	Vendida	Cancelada	
<b>Nuevo Leon</b>	31038	8,031	22,466	3,636	36,168	<b>101,339</b>
<b>México</b>	15367	6,406	16,675	402	13,114	51,964
<b>Distrito Federal</b>	2401	2,809	3,468	235	776	9,689
<b>Jalisco</b>	20320	4,803	16,876	2,717	24,499	<b>69,215</b>

Para el análisis se consideran as características del material, como el ahorro energético, confort térmico nuevas normas de construcción como la NON-020-2011-CONUEE o la Ley de Cambio Climático, la cual entró en vigor a partir de enero del 2015, así como también la introducción del sistema de construcción SIP en México, y además que el 3% de esta vivienda utilizará el Panel SIP para su construcción. Una VIS, Vivienda de Interés Social, requiere de aprox. 50 paneles SIP para su construcción. A partir de esto y del RUV del INFONAVIT, se calcula el número de paneles que se consumirán en un año.

## ANÁLISIS DE RUTAS DE DISTRIBUCIÓN A MÉXICO, GUADALAJARA Y MONTERREY

Se hace un ACV comparativo de la distribución del Panel SIP al Estado de México, Nuevo León y Jalisco, a partir de las probables reubicaciones de las plantas de ensamble y se calcula la cantidad de dióxido de carbono CO2 emitido durante el transporte, en cada uno de los diferentes escenarios.

Con el objeto de alcanzar una mayor exactitud en la medición de distancias para el cálculo de las TKM que le corresponden a la distribución del panel SIP, elegimos la entrega del producto en cada uno de los estados consumidores; Toluca en el Estado de México, Guadalajara en Jalisco y Monterrey en Nuevo León, ubicándolas en los centros históricos de estas ciudades.

Para la localización de las plantas ensambladoras, lugar donde una vez fabricadas y transportadas las materias primas (Placa de fibrocemento, placas de EPS y adhesivo) se efectua el ensamble del panel SIP, se seleccionaron tres probables ubicaciones:

SIP A. Puerto Escondido: lugar en donde actualmente se localiza la planta ensambladora y es desde esta ubicación que se desea analizar el impacto ambiental que representa mantenerla en este lugar , o bien considerar su probable reubicación.

SIP B. Estado de México: lugar donde actualmente se producen dos de las principales materias primas (Paneles de fibrocemento y EPS) con transporte mínimo a la planta de ensamble, para luego desplazar el producto terminado a centros de distribución regionales.

SIP C. San Luís Potosí: Se elige esta localidad, ya que actualmente cuenta con plantas para la producción del EPS, de tal manera que sólo se transportarían el fibrocemento y el adhesivo, para completar el ensamble del producto final y finalmente transportarlo a los centros de distribución.

Para efectos del análisis de ciclo de vida se consideraron las siguientes entradas;

- Materia Prima: Se toman en cuenta las materias primas con las entradas y salidas mencionadas en los inventarios anteriores.
- Energía: Se agrega el consumo de combustible necesario para el transporte de cada una de las materias primas.
- Transporte: Se elige el medio de transporte de la base de datos de Ecoinvent unit processes and system processes que considera la fabricación, uso de carretera, entradas de energía y emisiones al aire generadas durante el recorrido. Camión torton de 20-28 ton; procesos incluidos: operación del vehículo (combustible), producción, mantenimiento y disposición; construcción y mantenimiento de caminos. Barco: operación del barco (combustible), construcción del barco, mantenimiento y disposición del barco, construcción y uso de suelo para la construcción del puerto, mantenimiento del puerto. Tren: Operación del tren (carga descarga y combustible) mantenimiento y disposición del tren, construcción mantenimiento y disposición de las vías férreas.

Se analizan diferentes alternativas en la elección de los medios de transporte óptimos para cada uno de los planteamientos de distribución del panel SIP:

1. Transporte por Barco: El Puerto de Salina Cruz, se localiza en el estado de Oaxaca, a 252 km de Puerto Escondido. Hasta el 2001, la línea naviera TMM, atendía a la terminal de Salina Cruz, iniciando su viaje en Manzanillo, México y tocaba los puertos del Sur y Centroamérica. La línea NYK, cubría una ruta parecida desde Manzanillo, haciendo escala en el Puerto de Salina Cruz, bajando a Centro y Sudamérica, hasta Oriente. Cada una de las líneas navieras hacía escala en Salina Cruz, cada 15 días.

A pesar de que el Puerto de Salina Cruz, cuenta con la infraestructura necesaria para transportar el Panel SIP por barco, el estudio de las rutas comerciales, resulta contradictorio. La zona de influencia incluye los Estados con los que se efectúa el mayor intercambio de carga, siendo estos Veracruz, Chiapas; y el propio estado de Oaxaca. El resto del mercado de la zona de influencia, corresponde a los Estados de Tabasco, Campeche, Quintana Roo, Yucatán y Puebla; lo que da como resultado contar con una amplia zona de influencia actual del Puerto.

Dichos estados se comunican mediante el sistema de carreteras y el ferroviario, lo que indica la falta de infraestructura y gestión para la intercomunicación marítima nacional. Sin embargo, el estudio se realizará con el objeto de que en caso que resulte exitoso, sea un indicador para promover el comercio interno por medio del transporte marítimo.

2. Transporte Ferroviario: KCSM es una de las líneas férreas Mexicanas, afiliada a la compañía norteamericana KCS, que opera el sistema ferroviario en México. Es un sistema ferroviario de 2.645 millas (4.251 Km.) de vías, que da servicio al noreste y centro de México, así como a las ciudades

en los puertos de Lázaro Cárdenas y Tampico, entre otros, proporcionando una conexión directa entre EUA y el corazón industrial de México

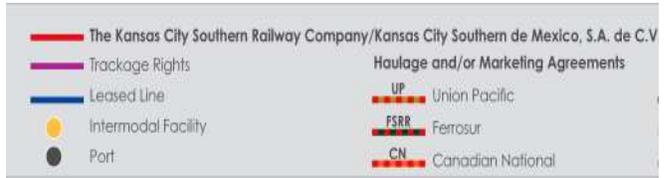


Figura 7.- Rutas comerciales de la línea férrea KCS en México.



Figura 8.- Rutas comerciales de la línea Férrea Ferromex en México.

También se tomará en cuenta la línea férrea Ferromex para el transporte del panel SIP. La ilustración 16 muestra las rutas comerciales de esta empresa.

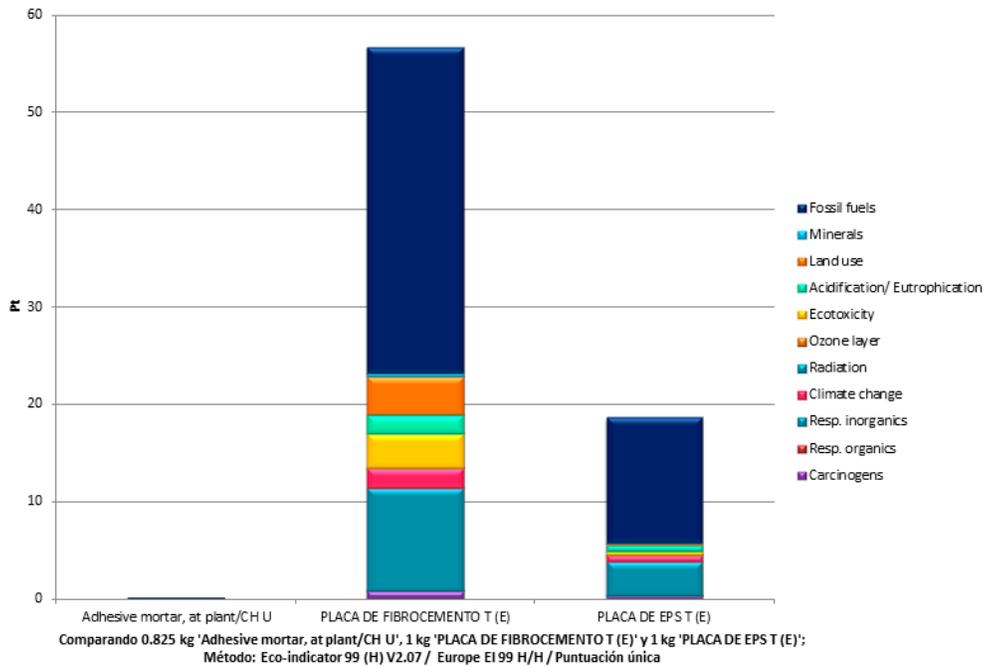
**Tabla 3.- Nomenclatura para las diferentes plantas de ensamble propuestas para analizar.**

Panel SIPA	Produccion de materias primas en el estado de México y Transporte a Puerto Escondido
Panel SIPB	Produccion de materias primas en el estado de mexico y transporte a la fábrica de ensamble
Panel SIPC	Produccion del fibrocemento en el estado de mexico transportado a SLP y producción del EPS en SLP con transporte en SLP

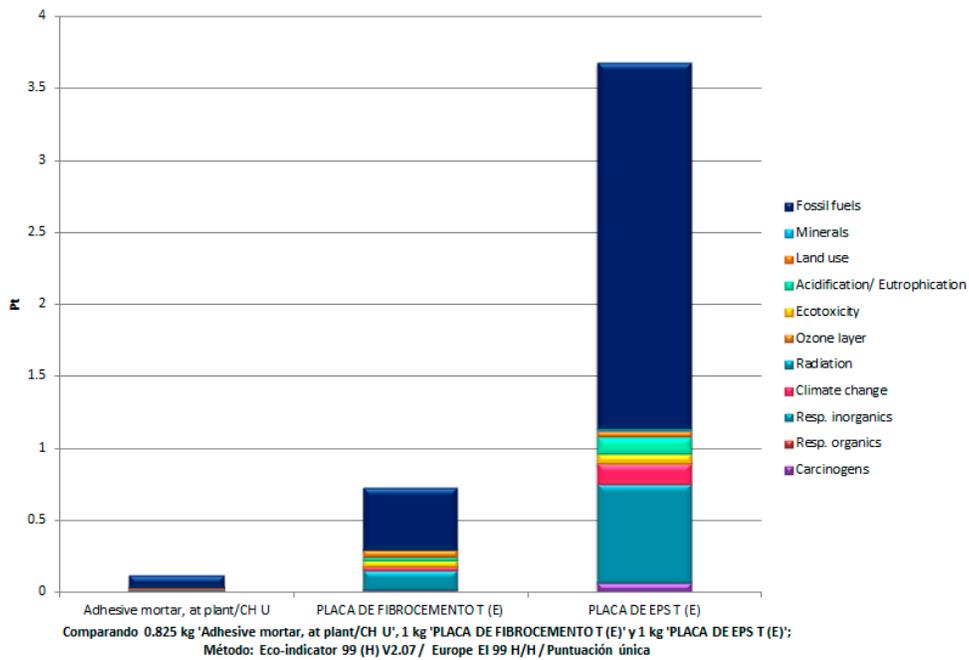
**Tabla 4.- Nomenclatura para identificar los diferentes escenarios de distribución del Panel SIP.**

NOMENCLATURA PARA LA DISTRIBUCIÓN DEL PANEL SIP		
<b>PANEL SIPA</b>		
Producción de materias primas en el estado de México y Transporte a Puerto Escondido		
<b>LUGAR DE DISTRIBUCION</b>	<b>NMC</b>	<b>RECORRIDO</b>
DISTRIBUCIÓN A MEXICO	TSIPA1	P.E-Mexico (Carretrea)
	TSIPA2	P.E-Mexico (Carretrea, Barco y Tren)
DISTRIBUCIÓN A GUADALAJARA	TSIPA3	P.E-Guadalajara (Carretrea)
	TSIPA4	P.E-Guada (Carretrea, Barco y Tren)
DISTRIBUCIÓN A MONTERREY	TSIPA5	P.E-Monterrey (Carretrea)
	TSIPA6	P.E-Mty (Carretrea, Barco y Tren)
<b>PANEL SIPB</b>		
Producción de materias primas en el estado de mexico y transporte a la fábrica de ensamble		
<b>LUGAR DE DISTRIBUCION</b>	<b>NMC</b>	<b>RECORRIDO</b>
DISTRIBUCIÓN A MEXICO	TSIPB1	Distribución en el Edo de Mex.
DISTRIBUCIÓN A GUADALAJARA	TSIPB2	Mexico-Guada (Carretera)
	TSIPB3	Mexico-Guada (Tren)
DISTRIBUCIÓN A MONTERREY	TSIPB4	Mexico-Mty (Carretera)
	TSIPB5	Mexico-Mty (Tren)
<b>PANEL SIPC</b>		
Producción del Fibrocemento en el estado de México transportado a SLP y producción del EPS en SLP con transporte en SLP		
<b>LUGAR DE DISTRIBUCION</b>	<b>NMC</b>	<b>RECORRIDO</b>
DISTRIBUCIÓN A MEXICO	TSIPC1	SLP-Mexico (Carretera)
	TSIPC2	SLP-Mexico (Tren)
DISTRIBUCIÓN A GUADALAJARA	TSIPC3	SLP-Guada (Carretera)
	TSIPC4	SLP-Guada (Tren)
DISTRIBUCIÓN A MONTERREY	TSIPC5	SLP-Mty (Carretera)
	TSIPC6	SLP-Mty (Tren)

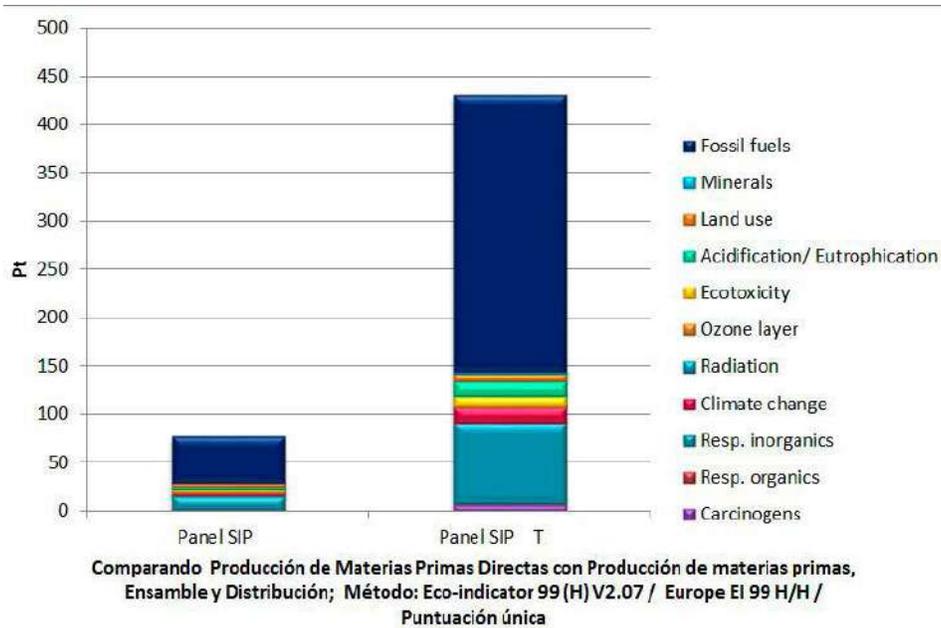




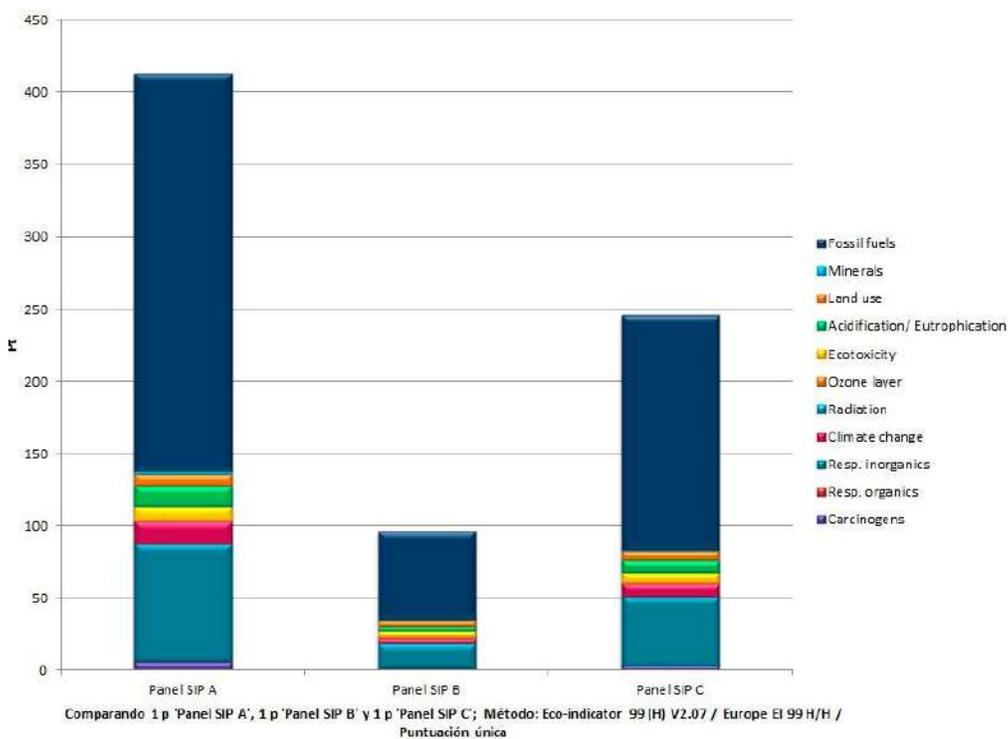
**Gráfica 1.- Impactos de materias primas base para la elaboración del Panel SIP, en Ecopuntos.**



**Gráfica 2.- Impactos por kg de cada una de las materias primas en Ecopuntos.**

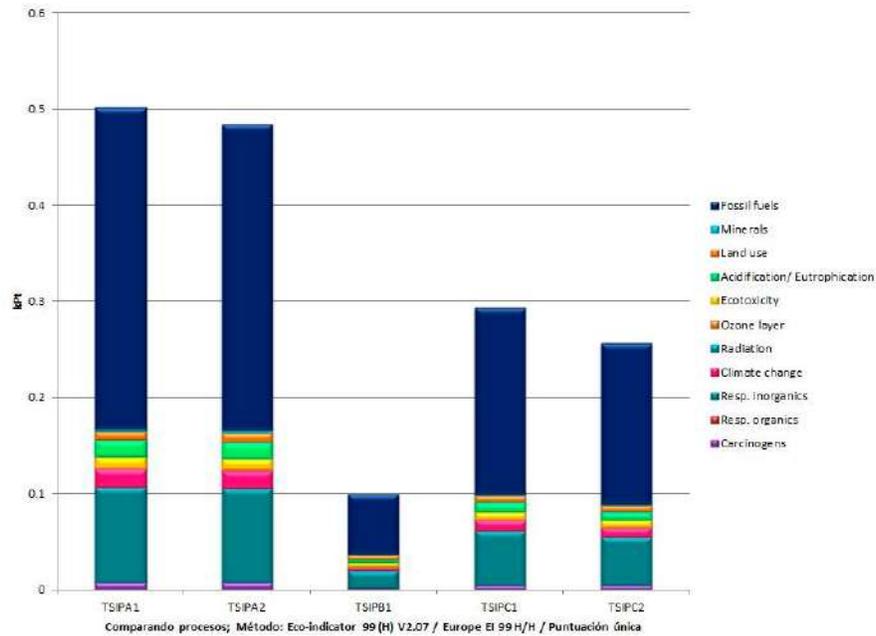


Gráfica 3.- Comparativo de impactos entre producción y transporte del Panel SIP, en Ecopuntos..

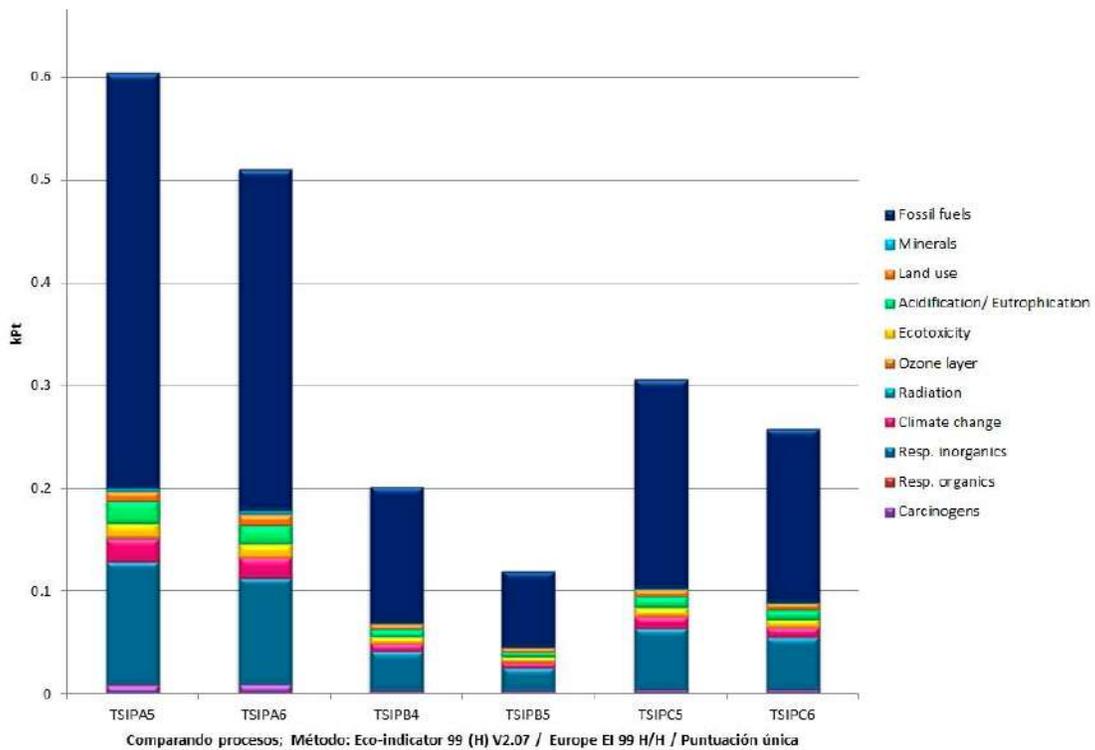


Gráfica 4.- Comparativo de impactos entre distribución del Panel SIP A, B y C, en Ecopuntos.)





Gráfica 5.- Comparativo Huella de Carbono en escenarios de distribución, en Ecopuntos



tos

Gráfica 6.- Comparativo Huella de Carbono de escenarios para distribución a Mty, en Ecopuntos.



## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El panel SIP, se compone en su peso volumétrico por un 93.004 % de las placas de fibrocemento, las cuales representan un impacto ambiental del 75.18%, el 6.015% del peso del panel SIP corresponde a la placa de poliestireno EPS, con un impacto que constituye el 24.70%. Además, el adhesivo representa apenas el 0.98% con un impacto mínimo del 0.12%. Por otra parte, comparando los impactos generados por kg de materia prima, el mayor impacto corresponde a la producción del EPS, siendo 5 veces mayor al del fibrocemento y aprox.32 veces más significativo que el de la producción del adhesivo, destacando entre ellos el impacto relativo a la categoría de agotamiento de combustibles fósiles. A su vez, la producción del adhesivo a pesar de ser el insumo que tiene menor impacto, representa un daño significativo al agotamiento de la capa de ozono puesto que en su composición química se utiliza resina epóxica la cual resulta altamente tóxica para el medio ambiente. En tanto que, la producción de fibro-cemento es mucho menos agresiva al ambiente que la causada por la producción del EPS, no obstante por tratarse del elemento con mayor peso en la constitución estructural del panel SIP, representa los mayores impactos ambientales del panel SIP.

Por otra parte, y haciendo el comparativo de impactos entre la producción y el transporte del panel SIP, los resultados indican que alrededor de 17.84% corresponde a efectos por producción y 82.16% debidos a transporte. A su vez, el 66.5% de los impactos totales de producción y transporte del panel SIP corresponde al agotamiento de combustibles fósiles, 19.65% a la categoría de efectos respiratorios inorgánicos y 3.78% a la categoría de cambio climático. El comparativo entre la ubicación de la planta en Pto. Escondido, y su probable reubicación al Estado de México o a San Luis Potosí clasificados para el análisis como SIP A, B y C, muestra que el de mayor impacto corresponde al panel SIP A, seguido por el SIP C, con un impacto menor de 40.5%, y por último el panel SIP B, con un impacto menor en un 76.63% respecto al panel SIP A y un 60.73% menor respecto al panel SIP C.

## CONCLUSIONES

En el análisis comparativo entre las materias primas se tiene como resultado que la producción placa de EPS es 5 veces mayor impacto que la de fibrocemento y 33 veces mayor a la producción del adhesivo. Todas las materias primas tienen mayor impacto en la categoría de agotamiento de combustibles fósiles seguido por efectos respiratorios inorgánicos. Tomando en cuenta dichos resultados, se concluye con especial atención que para la producción de placa EPS, se deben utilizar fuentes de energía alternas, implementar tecnologías o aditivos que generen un mayor rendimiento de materia prima o como empresa aplicar medidas compensatorias. Los impactos correspondientes al transporte de las materias primas y el panel SIP para su distribución es 4.6 veces mayores a los impactos de la producción del mismo, por lo que se proponen diferentes alternativas de distribución.

Los impactos generados por la distribución del panel SIP A (Puerto Escondido-México) son 1.68 veces mayores a los impactos provocados en el escenario panel SIP C (México-SLP) y además 4.27 veces mayores a los impactos del panel SIP B (Distribución en el Estado de México). Basándonos en estos resultados iniciales se concluye que la mejor alternativa para la distribución del panel es cerrar la actual planta ensambladora de panel SIP localizada en Puerto Escondido, para reubicarla en el Estado de México, ya que con esta nueva localización se ubicaría próxima a las actuales plantas

de producción de materias primas y bajo es propuesta reducir significativamente los efectos contaminantes causados por la distribución del producto y por consiguiente de impactos ambientales.

Los impactos generados por el transporte y considerados para el escenario del panel SIP B, éstos representan 3.85 veces menor al generado por la producción misma del panel, invirtiendo los resultados previamente señalados para la alternativa panel SIP A y colocando los impactos ambientales causados por la distribución a un segundo plano en importancia.

Otra alternativa muestra el panel SIP C, que plantea la reubicación de la planta ensambladora de panel SIP, en la localidad de San Luis Potosí, considerando la existencia de una planta productora de la placa de EPS, lo que evita el transporte del insumo desde el Estado de México y que dentro de las materias primas es la que genera mayor impacto en su transporte por su volumen en comparación a su peso. El impacto del transporte de materias primas, en este escenario, es 2.2 mayor al de la producción del panel SIP, sin embargo resulta mejor alternativa en términos de disminución de impactos en comparación con la alternativa SIP A. Esta propuesta funcionaría, en el mejor de los casos, para la apertura de una segunda planta ensambladora de panel SIP, sobre todo si se gestionara la apertura de una planta productora de placa de fibrocemento, pues esto generaría un resultado similar a la alternativa de panel SIP B y que podría disminuir significativamente el impacto en la distribución a las ciudades de Guadalajara y Monterrey, por la relativa cercanía de la Ciudad de San Luis Potosí a estas localidades.

En la comparativa de las estrategias para la distribución al estado de México, resulta siempre mejor opción aquellas cuya base es el panel SIP B, pues implica una importante reducción de kilómetros para el transporte de las materias primas.

## **BIBLIOGRAFÍA**

- Romero, Blanca Iris, (2003) El Análisis de Ciclo de Vida y la Gestión Ambiental, Boletín iIE 1-7, .  
SCIENTISTS, FEDERATION OF AMERICAN, Adaptations od Cementitious Structural Insulated Panels for Multistory Construction, 2009, THE CHARLES PANKOW FOUNDATION
- Suppen Nydia, Arista Gerardo, Aguillón Jorge, (2013) Análisis de ciclo de vida y ecodiseño para la construcción en México, UASLP, Universidad Autónoma de San Luis Potosí, México



# Actividades

EcodAI México 2018 contó con diversas actividades paralelas en las cuales se contó con la asistencia de expertos y profesionales de distintas especialidades ligadas al Ecodiseño y a la sustentabilidad.

Dichas actividades se crearon con el objetivo de discutir, practicar, reflexionar acerca de las distintas áreas de importancia en Ecodiseño.

En resumen, las actividades desarrolladas en el congreso fueron las siguientes:

- 5 Conferencias magistrales
- 9 Conferencias
- 2 Paneles temáticos
- 1 Demostración del FabLab Ibero
- 8 Talleres prácticos
- 1 Presentación de libro
- 2 Reuniones de la Red Latinoamericana de Ecodiseño, RLE
- 2 Presentaciones de casos de éxito de sustentabilidad

Las conferencias magistrales abordaron temas como la Incorporación de técnicas artesanales al proceso de diseño, aspectos técnicos de la metodología de Ecodiseño, la herramienta de Análisis de Ciclo de Vida (ACV) aplicada al Ecodiseño, políticas públicas de base para el Ecodiseño: experiencias latinoamericanas y casos de éxito de la aplicación del Ecodiseño.

Los casos de éxito de sustentabilidad presentados por empresas mexicanas fueron: Casa Broid Eco House de Metecno México y la fabricación de centros y tarimas de Polipropileno recuperado del proceso de fabricación de películas y sacos de rafia de la empresa Polyrafia.

Las sesiones de presentación en modalidad oral de los 33 trabajos tuvieron diversos ejes temáticos, tales como: Aplicación del Ecodiseño, Tecnología de frontera y Ecodiseño, Educación para el ecodiseño y Políticas públicas y Ecodiseño. Los trabajos en extenso de tales presentaciones se pueden consultar en el capítulo 2

Durante la presentación del IDIT de la Ibero Puebla se comentó que el IDIT concentra el trabajo de diversas disciplinas en un solo lugar con el objetivo de propiciar la innovación cruzada y crear soluciones inéditas que resuelvan problemas concretos de la realidad que nos rodea. En este espacio conviven todos los días alumnos, profesores, empresarios y profesionales de múltiples campos con la finalidad de crear colaborativamente.

Las disciplinas que con más frecuencia interactúan en el IDIT son: Ingeniería, Diseño, Alimentos, Medio ambiente y Negocios. Los asistentes al congreso dieron un recorrido guiado por el IDIT, observando que es un centro de creación y prototipado rápido que acerca la más avanzada tecnología y conocimientos de diseño y producción digital a todas las personas que tengan ideas o proyectos innovadores con potencial de éxito. El IDIT se enfoca especialmente en proyectos de alto impacto socioambiental que contribuyan a disminuir las desigualdades y desequilibrios sociales, económicos, tecnológicos y ecológicos de nuestro país.

También se realizó una demostración de casos de éxito del FabLab de la Ibero Puebla que se encuentra en las instalaciones del IDIT, en esta actividad se presentaron casos de éxito de vinculación con artesanos y empresas de economía social que promueven el fortalecimiento del desarrollo regional sustentable e incluyente.

Durante uno de los paneles temáticos – el de Ecodiseño en la educación- se tuvo la participación de Cecilia Mujica de la empresa Ecodiseño.cl, quien imparte un diplomado en Ecodiseño en Chile, el Mtro. Luis Flores, profesor de tiempo completo de la licenciatura de Diseño Industrial del Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Occidente; el Dr. Rubén Carnerero, Director Técnico IK Ingeniería España; los Drs. Miguel y Juan Pablo Segovia, de la Universidad Arturo Prat de Chile y la Dra. Arianet Valdivia, Vicedecana de Investigación y Postgrado de la Facultad de Comunicación Visual del Instituto Superior de Diseño de Cuba.

En el panel se abordaron temas como la importancia de la introducción del Ecodiseño en los planes de estudios en las Universidades, las habilidades que aporta el Ecodiseño para modelos de negocio innovadores que requerirá el mercado laboral, así como experiencias en la enseñanza del Ecodiseño. Además, los panelistas discutieron qué tan común es encontrar el Ecodiseño en los planes de estudio de las Universidades, qué retos y oportunidades existen en la enseñanza del Ecodiseño, el papel que juega la interdisciplinariedad en el proceso Ecodiseño y cómo se puede lograr dentro de un programa de estudio. Esta actividad permitió un foro de vinculación entre universidades para conocer logros, obstáculos y proyectos, de modo que se pueda lograr sinergia en la enseñanza de este tema fundamental para los tiempos que vivimos.

El panel Ecodiseño en las políticas públicas para la producción y consumo sustentable se desarrolló con la finalidad de vincular tomadores de decisión, públicos y privados y resaltar los beneficios y oportunidades que brinda el Ecodiseño en el desarrollo de políticas públicas y en el ámbito privado. En este panel se tuvo la presencia Yessica Annel Castillo Ruaro, Subdirectora de Producción Sustentable de SEMARNAT; Violeta Trinidad, Directora Ejecutiva de la Asociación Civil Dale la Cara al Atoyac, José María Fernández del Departamento de Medio Ambiente, Planificación Territorial y Vivienda del Gobierno Vasco de España y Alejandro Chacón, Director General, Ecodiseño.cl

Las ponencias fueron impartidas por ocho ponentes originarios de Argentina, Cuba, Colombia, España, Chile y México. Las ponencias cubrieron cuatro ejes temáticos relacionados con el Ecodiseño: aspectos técnicos, tecnología de frontera, educación y gobierno, de modo que se

presentaron temas variados como Industria 4.0, la integración del Ecodiseño en la formación del diseñador, el Ecodiseño en el Hábitat, la aplicación del Ecodiseño desde IHOBE en el Gobierno Vasco, la experiencia de Chile con la Ley de Responsabilidad Extendida del Productor (REP), estrategias de diseño sustentable hacia el 2025, selección de materiales a partir de Declaraciones Ambientales de Producto (EPD) y la metodología del Ecodiseño propuesta por Ecodiseño.cl.

En la presentación del libro “Aproximaciones al Ecodiseño”, se comentó que la obra reúne un conjunto de artículos que se pueden explorar de manera independiente, pero que juntos constituyen una síntesis de los planteamientos del Ecodiseño desde un punto de vista técnico, brindando al estudiante de diseño una visión acerca de las herramientas que ofrece para generar soluciones innovadoras para la sustentabilidad.

Finalmente, se llevaron a cabo nueve talleres los cuales abordaron de manera práctica temas variados como el Ecodiseño de empaques, tintes naturales aplicados a fibras vegetales y animales, Software para Análisis de Ciclo de Vida, Ecodiseño del hábitat durante emergencias y desastres, Ecodiseño y Declaraciones Ambientales, entre otros. Los talleres fueron impartidos por nueve ponentes provenientes de México, España, Argentina, Suiza, Perú y Chile.























### 3.1 Reto EcodAI-E3

Uno de los objetivos de esta actividad fue fomentar el desarrollo de capacidades en profesionales, académicos y estudiantes; proporcionar capacitación en torno al Ecodiseño y sus herramientas asociadas para adquirir conocimientos técnicos, guiados por actores relevantes de diversos países, así como promover la formación y fortalecimiento del capital humano de alto nivel.

Fue un ejercicio de vinculación en el que representantes de cuatro empresas presentaron un caso real de diseño para que los participantes propusieran una solución a través de la aplicación del Ecodiseño guiados por expertos nacionales e internacionales en el tema, logrando la vinculación entre empresas, centros de investigación y universidades.

Asimismo, fue un ejercicio de interacción entre expertos en Ecodiseño, empresas que están buscando alguna solución de diseño para sus productos, profesionales y estudiantes universitarios que desean contribuir a resolver problemas de diseño. Lo anterior se logra a través de un taller de trabajo interdisciplinario, intensivo y didáctico, orientado a generar propuestas y soluciones de productos y/o servicios innovadores y sustentables, aplicados a problemáticas reales, mediante la metodología del Ecodiseño.

Esta interesante actividad se comienza a gestar meses antes del congreso, cuando las empresas interesadas presentan un caso de estudio, seleccionando un producto o servicio, al que desean aplicar la metodología de Ecodiseño para mejorar de forma integral su desempeño en el ciclo de vida, o bien, un producto con alguna problemática detectada.

Durante el evento un equipo conformado por los asistentes al congreso y, liderados por expertos internacionales desarrollaron una propuesta de solución, buscando mejorar o rediseñar aspectos a lo largo de sus etapas de ciclo de vida: materias primas, producción, empaque, transporte, comercialización, uso y fin de vida, etc.

El Reto EcodAI E3, representó la oportunidad de generar innovaciones a los productos de las empresas participantes para mejorarlos mientras se disminuye su impacto ambiental, así como de aprender directamente de los expertos para replicar la metodología en otros productos de las empresas.

Las empresas participantes en el Reto EcodAI-E3 fueron Polyrafia, Metecno, Alen y Pesca la Basura. Polyrafia es una empresa mexicana que se dedica a la fabricación de productos plásticos para empaque y embalaje. Metecno produce una amplia gama de paneles estructurales con aislamiento térmico, accesorios para cada producto y puertas. Alen cuenta con un portafolio de 12 marcas diversificadas en más de 30 productos, en las categorías de blanqueadores, limpiadores líquidos, detergentes líquidos y en polvo, suavizantes para ropa, lavatrastes y ácido muriático. Pesca la basura es una empresa dedica a la recolección de bolsas plásticas con las que elabora accesorios como bolsas de mano, aretes, prendedores, etc.

El Reto EcodAI E3 se desarrolló durante los tres días del congreso, en los cuales se siguió la metodología propuesta por Ecodiseño.cl para identificar aspectos ambientales de los productos, cuantificar sus impactos, generar ideas de innovación y evaluar que las propuestas de mejoras para disminuir los impactos ambientales cuantificados inicialmente. Al finalizar, un jurado conformado

por los ponentes del congreso, seleccionaron el equipo con la mejor eco-innovación; resultaron ganadoras las empresas Polyrafia y Alen.

En el caso de Polyrafia, el equipo de trabajo propuso incluir un porcentaje de material reciclado en sus productos de empaque, mientras que Alen propuso una pastilla de cloro concentrado en lugar de la presentación líquida.













### 3.2 Concurso de calaveritas literarias

Las calaveritas literarias son parte del folclor mexicano, enclavadas dentro de la tradición del Día de Muertos celebrada todos los años en el día dos de noviembre. Su origen se remonta al México Virreinal y han persistido hasta nuestros días siendo una muestra importante de la cultura del país.

Están redactadas en formas de versos, dentro de los cuales se encuentra algún tipo de rima ya sea asonante o consonante, además de estar compuesta por una o varias estrofas dependiendo del autor y la idea que se quiera transmitir a la persona. Suelen ser cuatro versos por cada estrofa, aunque esto no es una regla universal que todo el mundo siga.

Su principal característica es la burla o mofa en tono irónico para describir a las personas o situaciones. En la redacción se pretende ilustrar que la persona ya falleció, esto quiere decir que es redactada en forma de epitafio, haciendo coincidir esta forma de redacción con el contexto en el que se escriben: el día de muertos.

En esta misma línea suelen contener grabados o imágenes que recuerden a la muerte, siendo muy populares las ilustraciones de la Parca, la Catrina o la Muerte acompañada de la persona a la cual se está dirigiendo la calaverita. En el texto suele mostrarse a la persona en el momento de su encuentro cara a cara con la muerte, simbolizando su fin en esta vida.

Fueron hechas para expresar ciertas ideas y pensamientos que se guardaban para decir a una persona alguna cosa sin que fuera demasiado directo, el pretexto ideal para expresar todo sin necesidad de dar mayores explicaciones.

Esta tradición popular no ha perdido vigencia, siendo ampliamente utilizada y reconocida por la gente que habita México como parte importante de su cultura.

Como parte de las actividades culturales de EcodAI, se convocó a los asistentes a elaborar una calaverita literaria referente a EcodAI México 2018 y al ecodiseño.

Aquí un ejemplo de una calaverita elaborada por el equipo organizador para invitar a los asistentes.

*“La Calaca al congreso de EcodAI se registró  
y su paper de ACV presentó.  
Del Ecodiseño nada entendió  
por lo que a los chilenos al cielo  
a ecodiseñar se los llevó”*

Agradecemos la entusiasta respuesta de todos los participantes; en el siguiente enlace podrán consultar el video con un fragmento de lo que fue el concurso de calaveritas.

<https://www.dropbox.com/sh/1yggu0sszt92xqt/AABvPaynQ-Q33xgN9qCmTYZa?dl=0>



### 3.3 Agradecimientos y conclusiones

Extendemos nuestro más sincero agradecimiento a todos los que participaron de forma activa en este enriquecedor congreso.

A todas las personas que brindaron su apoyo en actividades de difusión, gestión, diseño, actividades académicas, logísticas, y de comunicación, a los que se hicieron presentes y a los que nos apoyaron a la distancia, gracias.

A todo el equipo organizador, gracias por el incansable trabajo que hizo desde la planeación y hasta más allá de la publicación de las memorias. Ha sido un gusto compartir esta bella experiencia.

A todo el equipo de expertos, agradecemos su disposición y participación, con acciones como ésta, nos dirigiremos poco al sueño compartido. Gracias por su paciencia.

A todos los asistentes, agradecemos su valiosa participación, deseamos que este congreso impulse potencialmente sus investigaciones y mejor aún, el ímpetu por seguir aprendiendo.

Asimismo, como resultado de la realización de EcodAI 2018 en México, observamos que hay un gran trecho por recorrer, sin embargo, con acciones como esta, se impulsa efectivamente la difusión y acercamiento a metodologías como la de Ecodiseño y ACV. Esto, como una base para innovar en las empresas, disminuir costos y reducir impactos ambientales, que nos permita avanzar hacia una sociedad que produzca y consuma de forma sustentable.

Confirmamos que esto, sólo puede lograrse mediante actividades arduas de vinculación entre los diferentes actores para ello, la academia, el gobierno, las empresas y la sociedad en general, sólo de esta forma se pueden generar soluciones integrales, que promuevan la educación y permitan generar una verdadera cultura de la sustentabilidad.

Finalmente, les invitamos a participar en el 4to Congreso Latinoamericano de Ecodiseño, EcodAI Argentina 2020. En el cual continuaremos compartiendo avances en esta temática, inspirando y ganando más aliados que quieran ser parte de este cambio, así como la formación de nuevas sinergias que lo faciliten.

Organizan



Patrocinan



Apoyado por

CONACYT