



**El Colegio
de la Frontera
Norte**



**DISEÑO DE UN MODELO DE PRODUCCIÓN LIMPIA
PARA LA INDUSTRIA DE ENSAMBLE DE
ELECTRÓNICOS**

Tesis presentada por

Silvia María Balderas López

para obtener el grado de

**MAESTRA EN ADMINISTRACIÓN INTEGRAL
DEL AMBIENTE**

Tijuana, B. C., México
2010

"El que da, no debe volver a acordarse; pero el que recibe nunca debe olvidar."

(Proverbio hebreo)

A Marco Antonio, Marco, July y Andrea

AGRADECIMIENTOS

Todo logro va acompañado no simplemente del esfuerzo de una sola persona sino de todo un ejército que desde las trincheras lo respalda. El culminar los estudios de maestría no es una excepción, por lo cual quiero agradecer en primera instancia a Dios por su inagotable fuente de amor y por acompañarme a lo largo de este camino, y en toda mi vida.

Agradezco a mis padres y hermanos que aún cuando lejos siempre han estado presentes en cada paso que he dado. A Katy, Lucy, Heriberto y Ady por su apoyo ilimitado. Gracias a ustedes hijos y a ti Marco por compartir este logro y por ser partícipes en la realización de este sueño.

Un agradecimiento muy especial a quien ha sido mis manos, mis ojos y mis pies en casa, que ha brindado seguridad, amor y confort a mis hijos, a ti Alex, estoy segura que sin tu apoyo llegar al final habría sido más complicado.

Agradezco de manera particular a mi directora, Dra. Gabriela Muñoz, de quien no solo recibí apoyo en el aspecto académico sino en gran medida moral, gracias por su paciencia, dedicación y por su ayuda incondicional en todo momento. Agradezco los comentarios enriquecedores de los lectores, brindando su tiempo y experiencia para fortalecer el trabajo.

Y cómo no mencionar a los que fueron parte mi familia durante estos dos años en El Colef: Olivia, Beta, Yes, Jacobo, Dany, Lalo, Lari, Shirley, Italia, Caro, Dulce y Miguel, de los que siempre recibí una mano amiga y de quienes he aprendido a cada instante.

Agradezco el apoyo brindado por cada uno de los docentes, trabajadores y amigos de El Colegio de la Frontera Norte que participaron en la construcción de lo que ahora somos. Y finalmente, quiero agradecer al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por la oportunidad de formarme como profesional y por el apoyo económico brindado durante este período.

RESUMEN

Esta investigación muestra el desarrollo de un modelo de producción limpia a través de la metodología del análisis de ciclo de vida (LCA), aplicada al proceso productivo de la pequeña y mediana empresa (Pymes) dedicada al ensamble de electrónicos en particular componentes, circuitos y transformadores, ubicada en Tijuana. La caracterización de los procesos productivos se hizo mediante una abstracción teórica, validada posteriormente con una extensa colección de datos en campo, de tal modo que se logró cubrir hasta un 66 por ciento de la industria. La metodología de LCA permite analizar todas las fases de la vida de un producto considerando que son interdependientes, calcular el impacto ambiental acumulado a lo largo de la vida de tal producto e identificar los puntos potenciales de mejora ambiental. Además, este modelo de producción limpia permite incorporar los costos de consumo de recursos y de la gestión de residuos, mostrando tangiblemente el beneficio económico y la mejora en el desempeño ambiental por la adopción de prácticas ecoeficientes y tecnologías limpias; factor que estimula la participación proactiva de la empresa. Los resultados mostraron que las grandes empresas tienen un mejor desempeño ambiental, en parte debido a exigencias de sus oficinas centrales extranjeras; otro resultado relevante fue que las Pymes pueden transitar hacia un mejor nivel de desempeño ambiental (similar a grandes empresas) a través de acciones existentes aplicadas de manera más estricta e integral, y con ello tendrían adicionalmente beneficios económico, ambiental y social.

Palabras clave: Ecoeficiencia, análisis de ciclo de vida, desempeño ambiental, producción limpia, responsabilidad social empresarial, modelo de producción limpia, Pymes.

ABSTRACT

This research shows the development of a clean production model using the methodology of life cycle assessment (LCA) to assess processes of Small to Medium Size Businesses dedicated to electronics assembly (particularly electrical components, integrated circuits and transformers), located at the Mexican border city of Tijuana. The processes' characterization started with a theoretical abstraction to be then validated through an extensive data collection that covered up to 66% of these Businesses. LCA evaluates all stages of the life of a product (such as electronic components, integrated circuits and transformers) considering they are interdependent; thus LCA enables both the calculation of the cumulative environmental impacts along the life of the product, and the identification of targets for environmental improvement. In addition, the proposed model incorporates costs for resource consumption as well as waste management showing the economic benefit associated to improved environmental performance, due to the adoption of eco-efficient and clean technology practices. It should be said that this economic-environmental approach encourages a proactive involvement of the industry. Results showed that large Businesses have the best environmental performance partly due to requirements from international headquarters; another relevant result is that Small to Medium Size Businesses (SMBs) are able to improve their environmental performance (almost to large business like) as long as they strengthen and consider as integral existing environmental actions; doing so, in addition, these Business could have economic, environmental and social benefits.

Keywords: Eco-efficiency, life cycle assessments, environmental performance, cleaner production, corporate social responsibility, cleaner production model, SMBs.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I UNA VISIÓN SUSTENTABLE DESDE LA ECOEFICIENCIA Y LA PRODUCCIÓN LIMPIA	7
1.1 Ecoeficiencia.....	8
1.1.1 La ecoeficiencia en la política ambiental.....	12
1.1.2 Ecoeficiencia y las Pymes.....	15
1.2 Producción más limpia.....	17
1.3 Responsabilidad Social Corporativa.....	20
1.3.1 Antecedentes.....	20
1.3.2 Definición del concepto.....	21
1.3.3 Importancia de la RSC en las Pymes.....	23
1.4 Sistemas de Gestión Ambiental. El caso de la ISO 14000.....	24
1.5 Modelo de producción limpia para el ensamble de componentes electrónicos ECOPLAMEX.....	25
CAPÍTULO II LA METODOLOGÍA DEL ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA APLICADA AL ENSAMBLE DE ELECTRÓNICOS	27
2.1 Generalidades.....	28
2.2 Objetivo, alcance y delimitación del sistema.....	28
2.2.1 Procesos.....	29
2.2.1.1 Caracterización de los procesos representativos.....	31
2.2.2 Empresas.....	33
2.2.3 Escala temporal y espacial.....	36
2.2.4 Inclusiones.....	37
2.2.5 Exclusiones.....	37
2.3 Análisis del inventario.....	38
2.3.1 Levantamiento del inventario de recursos y desechos para la caracterización de variables ambientales.....	38
2.4 Análisis de impactos.....	39
2.4.1 Identificación de los impactos.....	41
2.5 Evaluación de impactos.....	42
CAPÍTULO III ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS	49
3.1 Análisis descriptivos y exploratorios.....	49
3.1.1 Consumo de energía eléctrica.....	49
3.1.2 Residuos peligrosos.....	52
3.1.3. Compuestos orgánicos volátiles.....	55
3.1.4. Empaque.....	55

CAPÍTULO IV DISEÑO DEL MODELO DE PRODUCCIÓN LIMPIA.....	59
CAPÍTULO V RECOMENDACIONES FINALES.....	67
5.1 Consumo de electricidad.....	67
5.2 Generación de residuos peligrosos.....	69
5.3 Manejo de residuos sólidos.....	71
5.4 Consumo de empaque.....	72
5.5 Análisis de factibilidad.....	72
5.6 Consideraciones finales.....	74
BIBLIOGRAFÍA.....	77
ANEXO 1.....	i
ANEXO 2.....	v
ANEXO 3.....	vii

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 2.1 Productos de la industria de la electrónica en Tijuana.....	30
Gráfico 2.2 Distribución de la muestra por proceso de ensamble.....	36
Gráfico 2.3 Huella de carbono comparado por tamaño de empresa y proceso.....	43
Gráfico 2.4 Ecotoxicidad por tamaño de empresa y proceso.....	43
Gráfico 2.5 Toxicidad humana de acuerdo a proceso y tamaño de empresa.....	44
Gráfico 2.6 Foto-oxidación de acuerdo al proceso y tamaño de empleo.....	45
Gráfico 2.7 Ecoperfil del ensamble de circuitos electrónicos	46
Gráfico 2.8 Ecoperfil del ensamble de componentes electrónicos.....	46
Gráfico 2.9 Ecoperfil del proceso de ensamble de transformadores.....	47
Gráfico 3.1 Consumo total de energía (kWh) por tamaño de empleo y proceso.....	50
Gráfico 3.2 Consumo de energía en cada fase de proceso (kWh/pza.).....	51
Gráfico 3.3 Consumo de energía eléctrica por proceso y tamaño de empleo.....	51
Gráfico 3.4 Escoria de soldadura generada (kg.) por pieza producida y por tipo de proceso.....	53
Gráfico 3.5 Generación de residuos líquidos peligrosos por unidad producida (lt).....	54
Gráfico 3.6 Generación de residuos peligrosos por unidad producida (kg).....	54
Gráfico 3.7 Compuestos orgánicos volátiles generados por unidad producida clasificados por tamaño de empresa y proceso.....	56
Gráfico 3.8 Empaque por unidad producida (kg/pza.) de acuerdo al tipo de proceso y al tamaño de empleo.....	57
Gráfico 4.1 Comparación del DA de acuerdo al proceso y tamaño de empresa.....	64
Gráfico 4.2 Desempeño ambiental de acuerdo al tamaño de empleo.....	65

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1.1 Cronología del Desarrollo Sustentable.....	9
Cuadro 1.2 Trayectoria del concepto de ecoeficiencia en los Planes Nacionales de Desarrollo (PND).....	13
Cuadro 2.1 Distribución de la muestra de acuerdo a la empresa a la que provee.....	34
Cuadro 2.2 Número de empresas con base en tamaño de empleo y proceso.....	35
Cuadro 2.3 Promedio mensual de la producción y tamaño de empleo.....	35
Cuadro 3.1 Intervalos de consumo de acuerdo al tamaño de empresa	52
Cuadro 4.1 Categorías de DA.....	63
Cuadro 4.2 Intervalos de variables ambientales para determinar el DA.....	64
Cuadro 5.1 Resumen de impactos ambientales por fase del ensamble de electrónicos.....	68
Cuadro 5.2 Análisis de factibilidad.....	73

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Esquema de sostenibilidad de Lehni.....	20
Figura 1.2 Desarrollo del modelo de producción limpia para la industria de ensamble de electrónicos “ECOPLAMEX”.....	26
Figura 2.1 Esquema del análisis de ciclo de vida de acuerdo a la ISO 14040.....	29
Figura 2.2 Diagrama de bloques del proceso de ensamble de electrónicos	33
Figura 4.1 Construcción teórica del modelo de producción limpia	61

INTRODUCCIÓN

Tijuana es uno de los centros con mayor desarrollo e importancia industrial tanto en el país como en el Estado de Baja California; así lo confirmaba el Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI) en 2007 cuando reportó que Tijuana contaba con el 64 por ciento de establecimientos dedicados a la industria maquiladora de exportación, que generaba el 77 por ciento del valor agregado por exportaciones y que daba empleo alrededor del 70 por ciento de personal ocupado en el estado de Baja California.

Tal crecimiento industrial ha sido histórico y fue apoyado principalmente por una serie de políticas económicas que surgieron desde hace cuatro décadas; éstas buscaron acelerar la integración económica de la frontera norte - el municipio de Tijuana incluido- con el resto del país estimulando el abasto, el comercio y el consumo en la región; y posteriormente la producción manufacturera a través de esquemas de subcontratación (Contreras, 2008).

Entre estas políticas se pueden citar el Régimen de Zona Libre, el Programa Nacional Fronterizo (1961-1965), el Programa de Industrialización Fronteriza que incluyó el régimen de maquiladora (originado en 1965 y ampliado en 1972), el Programa para la Promoción Económica de las Franjas Fronterizas y Zonas Libres (1971-1976), la Comisión Coordinadora del Programa Nacional para el Desarrollo de las Franjas Fronterizas y Zonas Libres del país (1977-1982) y el Programa Nacional Fronterizo (1983-1988). En 1985, además se crearon programas como el de Importación Temporal para la Exportación (PITEX) el cual amplió las facilidades de contratación a toda la industria nacional (Leyva, 1998), y recientemente el programa de la Industria Manufacturera, Maquiladora y de Servicios de Exportación (IMMEX) que entró en vigor en noviembre de 2006 (Secretaría de Economía, 2006).

Todos estos planes y programas, han promovido la inversión extranjera vía exención de impuestos a insumos internados en el país de manera temporal, y países como México, ofrecieron bajos costos de mano de obra, servicios e infraestructura; por sobre los potenciales impactos ambientales que las actividades de esta industria pudiesen generar (González-Aréchiga y Barajas, 1989).

De los sectores de la industria maquiladora, el que ha tenido mayor desarrollo en el municipio de Tijuana es el de la electrónica, en giros tales como fabricación y ensamble de aparatos de TV, radio y comunicaciones, fabricación y/o ensamble de pilas (secas), ensamble de componentes eléctricos o electrónicos diversos, fabricación y/o ensamble de aparatos, accesorios eléctricos o electrónicos para empalme, corte, protección y conexión, entre otros (García, 1998).

En cada fase de fabricación o ensamble de productos de la industria electrónica se incurre en el consumo tanto de insumos- en su mayoría importados de Asia (Carrillo y Hualde, 2006) -, como de recursos naturales por ejemplo: agua y energía eléctrica. Si bien el objetivo de tales procesos de fabricación o ensamble es un producto final, éste se ve siempre acompañado de subproductos, algunas veces aprovechables, y de emisiones a la atmósfera, residuos sólidos peligrosos y no peligrosos, así como descargas de aguas residuales (Montalvo, 1992; Méndez, 1995; Paz, 1996; Kopinak y Guzmán, 2005; Medina-Ross, 2005; Barajas *et al*, 2006; Carrillo *et al*, 2008; Jenkins y Mercado, 2008).

Los impactos ambientales ocasionados por las actividades de la industria de ensamble de electrónicos en Tijuana han sido caracterizados en estudios previos, sin embargo es pertinente proponer una solución a dicha problemática ambiental, que como se deja entrever, tiene un alto grado de complejidad debido a los factores sociales, económicos y normativos involucrados en la generación del mismo problema.

Debe agregarse que hay trabajo desarrollado en cada uno de estos factores por parte de la propia industria y el gobierno, y aunque tales acciones han ayudado a la minimización de la degradación ambiental en la región, dichos esfuerzos se han quedado cortos en alcanzar una mejora ambiental substancial, tal vez porque estos esfuerzos no han sido integrados en una herramienta operativa que no solo atienda a las causas principales sino capture la relación que éstas guardan entre sí.

Entre los factores determinantes que han contribuido en la problemática ambiental actual se destacan: la rápida industrialización, los mercados económicos no integralmente planeados, la laxitud de la normatividad y la propia actitud del empresario a incorporar prácticas amigables con el ambiente por la percepción errónea de que tales afectarán la productividad.

Hablando de la rápida industrialización basada solamente en un crecimiento económico no planeado, se puede mencionar que toda la serie de políticas, planes y programas que concedieron facilidades al crecimiento industrial no consideraron los impactos ambientales que las actividades de esta industria podrían generar. Ciudad Juárez y Tijuana son ejemplo donde el crecimiento de la industria maquiladora ha ido acompañado de una presión creciente sobre el ambiente debido a dos factores importantes mas no únicos; uno es el uso desmedido del recurso escaso –como el agua - y el otro es la generación de residuos peligrosos (Montalvo, 1992, Kopinak y Guzmán, 2005; Schatan y Castillejos, 2004).

Por hacer mención de la normatividad aunada al crecimiento económico, puede afirmarse que al mismo tiempo que el Tratado de Libre Comercio de México-Estados Unidos-Canadá (TLCAN) apoyó al crecimiento del sector maquila, permitió que las leyes mexicanas iniciaran su desarrollo en materia ambiental, así en 1988 se publica la Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente (LGEEPA). A pesar de la entrada en vigor de la LGEEPA, no ha sido posible reducir el impacto ambiental de las actividades industriales.

Algunos autores consideran que la falta de eficacia de la legislación ambiental existente reside en su laxitud (Jenkins y Mercado, 2008), por no ser tan estrictas como en países desarrollados. Así, aún cuando las normas mexicanas en materia ambiental se cumpliesen cabalmente, los límites máximos permisibles establecidos por las mismas dan lugar a la emisión de contaminantes al sistema natural.

Finalmente, entre los factores determinantes que han contribuido en la problemática ambiental se puede incluir la propia actitud de los empresarios para adoptar procesos productivos más limpios, misma que ha sido históricamente reacia; en consecuencia se tiene que el cambio hacia una industria más amigable con el ambiente ha sido gradual y lento (Montalvo, 2008).

A fin de atender vacíos y limitaciones de las normas ambientales actuales, el gobierno ha planteado mecanismos de cumplimiento voluntario que convocan a las empresas haciendo un llamado a su responsabilidad social.

Así surge el programa Auditorías Ambientales promovido por la Procuraduría de Protección al Ambiente (PROFEPA) y que tiene por objetivo promover la autorregulación

ambiental. A través de la auditoría se identifican los puntos de contaminación y se toman acciones para resolverlos, a fin de conseguir una certificación ambiental. Este programa ha tenido éxito parcial, ya que en Baja California de 1992 a 2008, sólo el 3 por ciento del total nacional ha realizado solicitud (PROFEPA, 2009).

Existen otros mecanismos de certificación ambiental como el de la International Organization for Standardization (ISO 14000), que generalmente es requerida por las oficinas centrales localizadas en el extranjero a las empresas filiales en Tijuana. Este tipo de certificación demanda auditorías que requieren de una inversión elevada por lo cual no todas las empresas - especialmente aquellas que no tienen las oficinas centrales en el extranjero- optan por esta opción (Medina-Ross, 2005).

Según Carrillo y Gomis (2004), en la ciudad de Tijuana, el 70 por ciento de las maquiladoras establecidas se dedican al ensamble de electrónicos. A pesar de su importancia numérica, dichas industrias han seguido un patrón gradual para transformar sus procesos hacia una producción limpia. Es así imperante realizar estudios que permitan comprender la problemática que enfrentan las empresas, en continuo crecimiento, con respecto a la preservación y cuidado del medio ambiente.

Autores como Montalvo (1992 y 2008), Méndez (1995), Paz (1996), Kopinak y Guzmán (2005), Medina-Ross (2005), Barajas *et al*, (2006), Carrillo *et al* (2008), Jenkins y Mercado (2008) entre otros, han abordado la problemática ambiental de la industria maquiladora de electrónicos y han encontrado que la presión ambiental ejercida puede resumirse en:

- 1) Contaminación por residuos tóxicos en las descargas de aguas
- 2) Generación de residuos peligrosos
- 3) Generación de emisiones a la atmósfera
- 4) Incumplimiento de la normatividad, y
- 5) Uso ineficiente de los recursos.

Ante esta problemática ambiental es importante proponer alternativas viables y efectivas que incluyan de manera integral una cultura de optimización en el uso de los recursos, la reducción, reutilización y reciclaje de desechos y la minimización de

emisiones, a la par del cumplimiento ambiental en la industria maquiladora; aun más, para alcanzar ese estatus holístico dichas alternativas deben incorporar herramientas económicas –tales como análisis de costo-beneficio - que le permita visualizar a los tomadores de decisión en la industria maquiladora los beneficios que representa aplicar estas prácticas.

La alternativa propuesta en el presente trabajo es un modelo que permita integrar al menos tres aspectos. En primer lugar, que promueva el desempeño ambiental de la empresa, identificando los procesos susceptibles de mejora y con posibilidad de ir más allá de los límites establecidos por la norma. En segundo lugar, que a través de la adopción de este modelo la empresa tenga acceso a incentivos económicos u otros reconocimientos como “distintivos o sellos verdes” tanto nacionales como internacionales y le permita a la empresa la posibilidad de incursionar en mercados “verdes”, en donde el cliente busca empresas proactivas con el ambiente al fabricar sus productos. Finalmente, que le incentive a volver práctica cotidiana la reducción, reutilización y reciclaje en las empresas; esta práctica sin duda debe ser reforzada mediante campañas de difusión dentro de la empresa por medios visuales, escritos y electrónicos. Es relevante apuntar que la optimizando del uso de recursos se verá acompañada de un beneficio económico.

El presente trabajo de investigación propone que la incorporación de prácticas ecoeficientes y/o tecnologías limpias en los procesos industriales de las pequeñas y medianas empresas dedicadas al ensamble de electrónicos, permitirá mejorar tanto el desempeño ambiental como la productividad de la empresa.

Así el objetivo general para desarrollar esta investigación fue diseñar un modelo integral de producción limpia que favorezca el desempeño ambiental de la industria de ensamble de electrónicos en Tijuana.

De manera más específica se buscó:

- Revisar e identificar los factores exitosos (incentivos económicos, reconocimientos públicos, y cultura ambiental) tanto de la normatividad aplicable a la industria de electrónicos como de los programas voluntarios ambientales para incorporarlos al modelo propuesto.
- Caracterizar los procesos de producción representativos de la industria dedicada al ensamble de electrónicos en Tijuana.

- Identificar las partes del proceso sujetos de ser perfectibles y subsecuentemente analizar la posible inclusión de prácticas ecoeficientes y tecnologías limpias.
- Elaborar un modelo relevante para la industria de electrónicos con base en un análisis de ciclo de vida del proceso que permita a mediano plazo favorecer el desempeño ambiental.

CAPITULO I UNA VISIÓN SUSTENTABLE DESDE LA ECOEFICIENCIA Y LA PRODUCCIÓN MAS LIMPIA

A fin de entender en su exacta dimensión el diseño y objetivo primordial del modelo de desarrollo limpio para la industria maquiladora de electrónicos aquí propuesto, es fundamental tanto analizar los conceptos de ecoeficiencia y producción más limpia, como seguir la evolución de los mismos dentro del contexto del desarrollo sustentable. Ya que tanto la ecoeficiencia como la producción más limpia tienen una incidencia directa en lo que actualmente se maneja como responsabilidad social corporativa, este último concepto también se revisa.

En la década de los noventa surgen y se desarrollan los conceptos de la “producción más limpia” y la ecoeficiencia dentro del ámbito de la gestión ambiental en la empresa, particularmente la productiva (CESPEDES, 2008); este par de conceptos son fundamentales para la integración de las consideraciones ambientales en la industria, incluida la maquila de electrónicos (Montalvo, 2008).

Los conceptos de “producción más limpia” y ecoeficiencia aunque complementarios son distintos; ya que por un lado, la producción limpia es una estrategia de política pública apoyada por el gobierno que promueve el cumplimiento ambiental y la superación de las exigencias de las normatividades (Van Hoff y Herrera, 2007). Por otro lado, la ecoeficiencia es una estrategia privada, una iniciativa empresarial, orientada a impulsar tanto la mejora continua en el desempeño ambiental industrial como en su desempeño económico (Leal, 2005).

Debe notarse que al mejorar el aprovechamiento de los recursos¹, también se añade valor a los productos y servicios, teniéndose como consecuencia lógica un aumento en la competitividad de la empresa ya que se reduce el desperdicio de recursos mediante la mejora de los procesos de la cadena productiva, se minimiza el volumen y toxicidad de los residuos generados, así como el consumo de energía y las emisiones contaminantes.

¹ Esta acción ha sido comprobada por algunas empresas de Tijuana que han incorporado dichas prácticas en sus procesos de producción tales como Carl Zeiss Vision, JVC, Kyocera, Philips, Pioneer Speakers, Sony de Tijuana, entre otras (Comunicación social, 2007).

Algunas grandes empresas han puesto en práctica la aplicación de ambos conceptos y han encontrado que dichas prácticas ecoeficientes no solo brindan un mejor cumplimiento ambiental sino que tienen un beneficio económico².

1.1 Ecoeficiencia

En la búsqueda de un equilibrio entre el progreso y el ambiente han surgido conceptos como el Desarrollo Sustentable (DS); éste fue dado a conocer en el informe Brundtland en 1987; desde entonces se ha consolidado en la principal filosofía ambiental a nivel mundial. El DS está basado en el principio de “satisfacer las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer las propias” (WCWD, 1987).

Posterior al informe Brundtland, se han llevado a cabo otros eventos (Cuadro 1.1) como la Cumbre de la Tierra en Río de Janeiro en 1992, los acuerdos como el Protocolo de Kyoto en 1997 y la cumbre de Río +10 en Johannesburgo en 2002 que han contribuido al DS. Es importante notar que el avance cronológico de eventos fue acompañado de un énfasis cada vez mayor de la relevancia de los asuntos ambientales, y por ende su incorporación creciente en la estrategia empresarial (Pérez y Bedoya, 2005).

La iniciativa privada ha incorporado la filosofía de DS dentro de las empresas, considerando que toda actividad productiva utiliza recursos naturales como agua, energía, materias primas; así como recursos humanos y recursos económicos, que les permiten satisfacer sus necesidades productivas. Por lo tanto, la responsabilidad de las empresas debe estar enfocada en estrategias económicas, tecnológicas, sociales y también ambientales que pueden llevarse a cabo para no comprometer los recursos de las futuras generaciones. Estas estrategias pueden ser ejercidas desde la voluntad propia de la empresa o desde la estricta aplicación de la ley.

² Tal es el caso de una empresa dedicada a la fabricación de bocinas, la cual en 2009 obtuvo un ingreso anual de aproximadamente 40000 dólares por concepto de venta de sus desechos (cartón, plástico, madera, metal, aluminio). Este ingreso sería suficiente para cubrir el costo de un mes de energía eléctrica en dicha empresa (datos recopilados durante la visita en trabajo de campo en febrero de 2010).

En la década de los noventa, dentro del marco del DS nace una filosofía llamada Ecoeficiencia, conceptualizada por Schaltegger y Sturm desde la academia (Schaltegger y Burritt, 2000) y difundida por miembros de la World Business Council for Sustainable Development (WBCSD) en particular Stephan Schmidheiny en 1992.

La visión central de la ecoeficiencia se puede resumir en "producir más con menos recursos, generando equidad en la distribución de los beneficios y menos impacto al ambiente" (Schmidheiny, 1992). La ecoeficiencia, en especial, se plantea como el proceso de avance de los países hacia un desarrollo industrial más sustentable (Macía, 1999).

Cuadro 1.1 Cronología del Desarrollo Sustentable

Año	Evento
1987	Publicación del informe Brundtland. Surge el concepto de DS.
1992	Conferencia sobre el Medio Ambiente y Desarrollo (Cumbre de la Tierra).
	<ul style="list-style-type: none"> • Agenda 21
	<ul style="list-style-type: none"> • Conferencia marco sobre cambio climático
	<ul style="list-style-type: none"> • Convenio sobre diversidad biológica
2002	Conferencia Mundial sobre Desarrollo Sostenible 2002 en Johannesburgo, Sudáfrica

Fuente: Elaboración propia con base en Pérez y Bedoya (2005).

El sector privado se ha percatado de que debe incorporar la variable ambiental en sus propios procesos, operaciones o servicios. De este modo, la ecoeficiencia es un concepto que ha sido llevado de la filosofía a la práctica a través de acciones como la disminución de desechos y emisiones (además de la reducción de los impactos ambientales a lo largo de todo el ciclo de vida de los productos³), incremento tanto en la eficiencia del uso de los recursos, como en la productividad. Estas entre otras acciones están enfocadas a colaborar con el principio del DS.

³ El análisis de ciclo de vida es “una técnica para determinar los aspectos ambientales e impactos potenciales asociados con un producto: compilando un inventario de entradas y salidas relevantes del sistema; evaluando los impactos ambientales potenciales asociados a esas entradas y salidas de materia y energía, e interpretando los resultados de las fases de inventario e impacto en relación con los objetivos del estudio (Romero, 2003).

Los beneficios económicos y ambientales al aplicar la ecoeficiencia son los resultados de promover la creatividad e innovación, incentivar el desarrollo y elevar la competitividad. Así muchas empresas que han adoptado la filosofía ecoeficiente están en constante búsqueda de mejores prácticas y maneras de contribuir a los objetivos principales y apropiarse del concepto.

Estos beneficios se ven materializados al establecer alternativas como programas de recuperación de residuos. Por ejemplo, en la industria de ensamble de electrónicos se genera un residuo llamado escoria de soldadura⁴. En algunas empresas, este residuo es colectado en los puntos de generación durante el proceso. Después se lleva a la máquina de recuperación que realiza una separación física de la soldadura y el polvo, mediante un proceso térmico. Esta máquina recupera al menos 15 por ciento del requerimiento diario de soldadura (datos recolectados en trabajo de campo, febrero de 2010). En este caso ambos beneficios se ven plasmados al mejorar la eficiencia del uso de soldadura, ya que si no se recuperara además de aumentar los requerimientos de soldadura para completar la demanda diaria se incrementaría la cantidad de residuos peligrosos, los cuales tendrían que ser dispuestos posteriormente e implicaría mayores gastos por consumo y disposición.

Las perspectivas económica y ambiental se ve incorporadas en la propia palabra “ecoefficiencia”; aunque para algunos autores el prefijo “eco” se refiere exclusivamente a asuntos ambientales (Jollands *et al*, 2004), en tanto otros asumen que el prefijo se refiere a aspectos económicos (OECD, 1998).

Operativamente, la ecoeficiencia establece una relación entre las entradas (por ejemplo productos, co-productos y consumo energético) y las salidas de un proceso productivo (el producto en sí mismo, emisiones atmosféricas, efluentes o residuos por nombrar algunos). De manera que entre más pequeña sea la relación más eficiente es el proceso ya que hay más altas salidas (producto terminado) a menores insumos utilizados (Burritt y Saka, 2006).

De acuerdo a autores como Mickwitz *et al* (2006), Núñez (2006), Leal (2005) y Bartolomeo *et al* (2003), la ecoeficiencia está fundamentada en dos principios. El primero se refiere al uso sustentable de los recursos y el segundo a la minimización de los impactos

⁴ Escoria de soldadura: residuos generados en las máquinas de soldadura automática o de la soldadura manual y generalmente están mezclados con polvo o partículas de sólidos derivados del mismo proceso.

ambientales derivados del proceso (al final del tubo). Más allá de estos principios, la ecoeficiencia busca el aumento en la productividad de los recursos naturales, como los energéticos, y la reducción de los impactos ambientales a lo largo de todo el ciclo de vida del producto.

Como la ecoeficiencia es una filosofía planteada desde el propio sector empresarial, ha tenido mucho éxito y aceptación por parte de las empresas. Algunos casos de éxito de empresas miembros de la WBCSD que han puesto en marcha dicha filosofía, dan fe mostrando no sólo los beneficios ambientales sino también los económicos.

Siendo la WBCSD pionera en la filosofía y aplicación de la ecoeficiencia, es adecuado listar las siete acciones ecoeficientes que desde su perspectiva pueden llevarse a cabo en una empresa:

1. reducir el consumo de materiales
2. reducir el consumo de energía
3. reducir la dispersión de sustancias tóxicas
4. mejorar la reciclabilidad
5. maximizar el uso de recursos renovables
6. extender la durabilidad de los productos
7. aumentar los servicios proveídos.

Es importante resaltar que aún cuando la ecoeficiencia está ubicada en la línea ambiental-económica dentro del desarrollo sustentable, juega un papel relevante en el ámbito social; ya que la propia empresa beneficia la calidad de vida del trabajador y de la población cercana cuando minimiza sus desechos y emisiones.

Por otra parte, desde una perspectiva global, la ecoeficiencia contribuye a la disponibilidad futura de los recursos. Por ejemplo, en la industria de ensamble de electrónicos existe demanda de energía eléctrica para llevar a cabo sus procesos productivos; dicha generación de energía se lleva a cabo con base en hidrocarburos; así al mejorar la eficiencia en el uso de la energía o contar con generación de electricidad por uso de energías renovables *in situ* permite tener mayor disponibilidad de estos hidrocarburos para generaciones futuras.

1.1.1 La ecoeficiencia en la política ambiental.

En esta sección se presenta un recorrido de la visión ambiental dentro del marco de los planes nacionales de desarrollo, que a través de más de veinticinco años permite visualizar la problemática ambiental así como el avance en la búsqueda de soluciones efectivas incluyendo las prácticas de ecoeficiencia. A través de este recorrido es posible visualizar que a nivel gubernamental, la ecoeficiencia se ha incorporado como una estrategia hacia el desarrollo sustentable.

La síntesis del Cuadro 1.2 permite observar que no es sino hasta 1983 cuando se percibe una preocupación palpable respecto al ambiente y es entonces cuando se incorpora un primer apartado referente a la ecología.

Durante el transcurso de los siguientes planes se ve un avance paulatino incrementado estrategias y objetivos ambientales a nivel nacional. Sin embargo, no es sino hasta el Plan Nacional de Desarrollo 2007-2012 donde se aborda de manera puntual la problemática ambiental. Dicho plan maneja cuatro ejes o vertientes principales siendo el eje número cuatro el que corresponde a la sustentabilidad ambiental, promoviendo la participación social e industrial en pro de la salud, así como el uso de tecnologías limpias y amigables con el medio ambiente, como alternativa para el aprovechamiento eficiente de los recursos y por consecuencia la disminución de la demanda de dichos recursos y garantizar su disponibilidad en el futuro.

Un punto importante en este plan de desarrollo (PND 2007-2012) es que se propone incrementar la atención a las pequeñas y medianas empresas, ya que los recursos financieros y técnicos con los que cuenta son escasos, y **en** consecuencia el cumplimiento y responsabilidad ambiental se ven limitados.

Entre los objetivos que el PND (2007-2012) maneja, el objetivo seis está enfocado a una gestión ambiental integral, transversal y eficiente. En donde se fomentan prácticas de la Gestión Ambiental que favorezcan el uso eficiente de los recursos y el desarrollo competitivo de las empresas; así como la participación del sector privado en la incorporación de prácticas de ecoeficiencia en sus actividades productivas y en el desarrollo de infraestructura ambiental.

Asimismo, dentro de sus estrategias este PND promueve reconocer a los agentes productivos que se enfoquen en el uso eficiente de los recursos y disminución de generación de residuos y emisiones mediante certificaciones que incentiven la práctica de la mejora continua. Lo cual les permite ser competitivos y les amplia mercados.

Estas estrategias anteriormente mencionadas han tomado en cuenta tres elementos: beneficio social, desarrollo económico y cuidado del medio ambiente.

Cuadro 1.2 Trayectoria del Concepto de Ecoeficiencia en los Planes Nacionales de Desarrollo (PND)

PND	Enfoque ambiental	Características
1983-1988	Agreden por primera vez un apartado referente a la ecología.	Falta de desarrollo de tecnologías adecuadas considerando diferentes condiciones ecológicas, sociales, económicas y culturales. Se carece de un marco jurídico adecuado que promueva una buena gestión de recursos naturales. Necesidad de participación de los tres niveles de gobierno, el sector privado y social.
1989-1994	La preparación del TLCAN propicia que se incorpore a la legislación mexicana la Ley General Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente (LGEEPA).	Aplicación rigurosa de la Ley. Surge el concepto de desarrollo sustentable en el Informe Brundtland y junto con este el de Ecoeficiencia con el lema “hacer más con menos”.
1995-2000	Durante este período se hace mayor énfasis en la problemática ambiental y el deterioro que se ha provocado en el ambiente.	Normatividades rebasadas por la contaminación. Se plantea un aprovechamiento duradero de los recursos naturales renovables, para poder disponer de ellos a largo plazo. Se propone que la política ambiental y el aprovechamiento de los recursos deben ir más allá de una actitud regulatoria. Se impulsa la creación de mercados y financiamientos para el desarrollo sustentable. Se reorientan los patrones de consumo y cumplimiento efectivo de las leyes (control y vigilancia- mitigación). Se fortalece la regulación ambiental a través de mecanismos como la evaluación de impacto ambiental y manejo de residuos. Se crean incentivos, normas e instrumentos económicos ofertados a la industria para impulsar el cumplimiento ambiental. Se da un enfoque en el uso eficiente de agua. Se inicia la aplicación del programa “industria limpia” iniciado por SEMARNAP (INE, 1997), con un enfoque de regularización voluntaria promoviendo una actitud proactiva de la industria.

Cuadro 1.2 Trayectoria del Concepto de Ecoeficiencia en los Planes Nacionales de Desarrollo (PND) (continuación...)

PND	Enfoque ambiental	Características
2001-2006	Se incluye un objetivo rector (cinco) estableciendo condiciones para un desarrollo sustentable.	Promueven el uso eficiente de agua y energía. Se identifica a la industria como factor determinante en la generación de contaminantes sino utilizan tecnologías limpias. Se acciona una gestión ambiental integral y descentralizada, así como fomentar políticas que promuevan inversión en prevención de la contaminación
2007-2012	Se aborda de manera puntual la problemática ambiental, estableciendo el eje 4 de la sustentabilidad ambiental, a través de líneas y estrategias, relacionadas con el concepto de ecoeficiencia y la promoción de mecanismos que la lleven a cabo desde el punto de vista proactivo más que reactivo (mitigación).	Estrategia 5.1 impulso al uso de tecnologías limpias y amigables con el medio ambiente. Aprovechamiento eficiente de los recursos para disminuir su demanda y garantizar su disponibilidad en el futuro. El objetivo 6 plantea una gestión ambiental que favorezcan el uso eficiente de los recursos y el desarrollo competitivo de las empresas. Estrategia 6.2 se enfoca en fomentar la participación del sector privado incorporando prácticas de ecoeficiencia en sus actividades productivas y en el desarrollo de infraestructura ambiental. Promueve el reconocimiento a los agentes productivos que se enfoquen en el uso eficiente de los recursos y disminución de generación de residuos, emisiones, mediante certificaciones que incentiven la práctica de la mejora continua.

Fuente: Elaboración propia con base en los planes nacionales de desarrollo de 1983 a la fecha.

Tanto la gestión pública como la gestión privada han encontrado en las prácticas ecoeficientes una herramienta práctica que se puede introducir en cualquier proceso productivo, con objetivos ambientales pero también con preocupación en la competitividad y productividad de las empresas.

La ecoeficiencia desde el punto de vista de la gestión pública ha tenido aplicación limitada en el Estado de Baja California. Anualmente se lleva a cabo una premiación dentro del “Foro de Ecoeficiencia y Producción Más Limpia” a las empresas que lleven a cabo acciones ecoeficientes. Estos premios han sido alcanzados por grandes empresas que cuentan con mayores recursos (económicos, técnicos, humanos) que les da ventajas sobre las empresas pequeña y mediana.

Siendo la pequeña y mediana empresa (Pymes) un sector importante al que debe atenderse, es necesario que por parte de la iniciativa pública se incorporen programas o

herramientas accesibles para ellas, que los lleve por un lado a mejorar el desempeño ambiental y al mismo tiempo mejorar su productividad, como se propone con el modelo desarrollado en esta investigación.

1.1.2 Ecoeficiencia y las Pymes

La ecoeficiencia no es exclusiva de grandes empresas, también es aplicable a las Pymes tanto en países en desarrollo como en naciones industrializadas. Así, en esta sección se revisará de manera general el papel de las Pymes en el ámbito ambiental y cómo éstas pueden usar prácticas ecoeficientes para mejorar su desempeño ambiental.

Como cada país tiene su propio concepto de Pymes, es apropiado definir el concepto en el contexto mexicano e incluso local (Tijuana). De acuerdo a la Secretaría de Economía (SE) y la Secretaría de Hacienda y Crédito Público (SHCP), las empresas se clasifican de acuerdo al número de empleados y están definidas en cuatro categorías: micro, pequeña, mediana y grande. Para los propósitos de este trabajo de investigación y utilizando las categorías antes nombradas, se consideró que una empresa era pequeña si tenían de 11 a 50 empleados y mediana si en ella laboraban de 51 a 250 empleados (Secretaría de Economía, 2009).

A nivel nacional la importancia de las Pymes radica tanto por el número de empresas instaladas como por su aportación al Producto Interno Bruto (PIB). De acuerdo al INEGI, en 2002 las Pymes emplearon a más de 72 por ciento de la población económicamente activa y aportaron 52 por ciento del PIB mexicano.

En el caso de Tijuana, de acuerdo al directorio de la CANACINTRA y la Secretaría de Desarrollo Económico (SEDECO, 2009), ciento cuatro empresas están dedicadas al giro de la electrónica y de acuerdo a su tamaño 37 por ciento corresponde a la pequeña empresa y 22 por ciento a la mediana. Es decir, 59 por ciento de las empresas dedicadas al giro de la electrónica son Pymes.

Desde la perspectiva ambiental y dada la naturaleza de los procesos que se llevan a cabo en las empresas dedicadas al ensamble de componentes electrónicos; se detectan impactos negativos como el uso de recursos como agua y energía, generación de emisiones así como la generación residuos peligrosos y no peligrosos.

De acuerdo a estudios previos como los de Correa *et al* (2004) y Corral *et al* (2005), el grado de implementación de acciones medio-ambientalmente en las Pymes latinoamericanas (2003) refleja que 59 por ciento de ellas no realizaron ninguna actividad como: monitorización del impacto de sus procesos, implementación de programas de eficiencia en el consumo de energía y agua, programas de manejo de residuos (reducción, reciclaje o tratamiento de residuos), programas de aprovechamiento de subproductos de la producción, sistemas de gestión medio-ambiental, certificaciones medio-ambientales a proveedores/subcontratistas.

Algunos de los factores que intervienen en la aplicación de acciones medio-ambientales en las Pymes son: mejorar la relación existente entre la Pyme y la comunidad, al igual que con autoridades, mejorar la lealtad con proveedores y clientes, mejorar la satisfacción laboral, mejorar resultados económicos, presión de terceros, uso de incentivos económicos, cumplimiento de la legislación ambiental existente, y razones éticas y culturales de las propias empresas o de los empresarios o dueños (Corral *et al*, 2005).

En el punto específico de la mejora de resultados económicos, es real un avance en cuanto a la aplicación de actividades medio-ambientales, que les permite hacer tangible el ahorro en uso de energía al verlo traducido en dinero. Sin embargo, la ecoeficiencia va más allá del ahorro, puede traducirse y ser incorporado en términos de la productividad (Leal, 2005).

Retomando el ejemplo de la escoria de soldadura y su recuperación, situándose en la misma empresa antes y después de recuperar la soldadura, se puede realizar una evaluación de la cantidad de soldadura empleada por pieza producida en estos dos momentos, la diferencia entre ecoeficiente y no ecoeficiente es palpable considerando la diferencia porcentual (15 por ciento) entre un consumo y otro. Es decir, si antes de la recuperación se requerían 100 kg. de soldadura para una producción de 500 componentes, posterior a la recuperación se requieren 85 kg. para la misma producción. Estos 15 kg. no solo representan menor consumo de soldadura sino una disminución en los costos por adquisición materiales, menor costo por disposición de residuos y menores costos ambientales complejos de cuantificar.

En el caso de la maquila dedicada al ensamble de electrónicos, la ecoeficiencia es aplicada en grandes empresas. Dichas empresas cuantifican sus ingresos por reducción en

uso de energía eléctrica, comercialización de residuos (cartón, plástico, pins, incluso scrap) que tienen previamente un manejo adecuado para su separación y su venta para reciclaje.

Por otro lado, las Pymes registran algunas barreras por las que no han incorporado este tipo de prácticas tales como la falta de recursos financieros, tecnológicos y humanos, la falta de tiempo, la falta de apoyo público y el desconocimiento - es decir que nadie en la empresa lo haya planteado – siendo éste último uno de los factores más sobresalientes (Corral *et al*, 2005).

Dado que las Pymes dedicadas al ensamble de electrónicos, ambientalmente tiene impactos significativos, y partiendo que el desconocimiento es un factor relevante en la falta de aplicación de acciones amigables con el ambiente, es conveniente proponer la ecoeficiencia como una alternativa que tendrá beneficios ambientales, económicos y sociales.

Por lo tanto, considerando el estatus en el que se encuentran las Pymes y las barreras que obstaculizan el mejoramiento en su desempeño ambiental, el modelo de producción limpia objeto de esta investigación pretende identificar, proponer y medir puntos críticos en el desempeño ambiental de los procesos típicos de las Pymes, a través de prácticas ecoeficientes; siendo una herramienta accesible en términos económicos, técnicos y en su propia utilización.

1.2 Producción más limpia

El cumplimiento ambiental desde la perspectiva de la gestión pública, ha sido abordado en diferentes etapas, iniciando con lineamientos de comando y control, es decir, normas y leyes que plantean límites máximos permisibles y que tienen por objetivo que las empresas cumplan con lo establecido en ellas; otras herramientas propuestas son los instrumentos económicos que tienen por objetivo incentivar en algunos casos el cambio en sus equipos a tecnología amigable con el ambiente, redituando a la empresa en la disminución en el tiempo de amortización de los equipos.

El concepto de producción limpia surge como una estrategia de prevención que las empresas grandes, medianas o pequeñas pueden aplicar a sus procesos productivos, orientada al uso eficiente de los recursos naturales, insumos y materias primas; con el

objetivo de disminuir tanto los riesgos a la salud humana como al ambiente, y al mismo tiempo mejorar la productividad y competitividad de la empresa (Gómez *et al*, 2006).

Este concepto es planteado como una estrategia de política pública y se enfoca tanto en la mejora de procesos como de productos, con el objetivo de evitar impactos ambientales antes de su generación, es decir, no se enfoca en disminuir la contaminación sino evitar la contaminación. Esta estrategia es superior a nivel económico y ambiental comparándola con estrategias tradicionales de controles al final del tubo ("end-of-pipe") o tecnologías de limpieza (clean-up), que se llevan a cabo ya que se generó algún contaminante.

De acuerdo con el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), la producción más limpia es la aplicación continua de una estrategia ambiental preventiva integrada a los procesos, a los productos y a los servicios para aumentar la eficiencia total y reducir los riesgos a los seres humanos y al ambiente. Este concepto puede aplicarse a los procesos empleados en cualquier industria, a los productos y a los diversos servicios que proporciona la sociedad.

En Estados Unidos, la producción más limpia es definida en la Pollution Prevention Act (1990) como *"el uso o modificación de procesos o prácticas que reducen o eliminan la creación de contaminantes o residuos en la fuente y, cuando los contaminantes o residuos no pueden ser impedidos, la utilización de procesos ambientalmente sensatos o reciclaje en circuito cerrado (EPA, 1990) (closed-loop recycling)"*

En México, el Centro Mexicano de Producción más Limpia retoma prácticamente en su totalidad la definición dada por el PNUMA estableciendo que es "la aplicación continua de una estrategia de prevención ambiental aplicada a procesos, productos y servicios a fin de aumentar la ecoeficiencia de la industria y reducir riesgos al ser humano y al ambiente".

En cuanto a procesos productivos el objetivo es ahorro de materias primas y energía, eliminación de la generación de materias tóxicas y minimización de toxicidad de emisiones, efluentes y residuos desde el origen. Por su parte en productos está orientado a reducir los impactos negativos a lo largo de todo el ciclo de vida del producto desde el diseño hasta su disposición final. Y en servicios, trata de incorporar cuidados ambientales en el diseño y entrega de los mismos.

En el Figura 1.1 se muestra el esquema de sostenibilidad de Lehni (2000), en donde a la par de las instituciones públicas apoyadas en normatividades y programas voluntarios, la gestión privada (empresas) aplica los conceptos de ecoeficiencia y producción limpia con una visión a largo plazo hacia la sustentabilidad y apoyando con acciones para llegar a la responsabilidad social corporativa.

Algunos puntos a considerar para llevar a cabo una estrategia de producción más limpia se listan a continuación (Comité Nacional de Producción más Limpia, 2007):

- a) La prevención y reducción de residuos en el origen, considerando puntos como el uso racional de los recursos, selección de materiales de menor impacto ambiental, modificaciones al proceso productivo o cambios en la tecnología, cambios en las prácticas de operación.
- b) La prevención de riesgos; para lo cual se recomienda contar con un programa de seguridad e higiene industrial.
- c) El uso eficiente de agua, reduciendo el consumo actual, recirculando y/o reusando agua de los procesos.
- d) El uso eficiente de energía eléctrica haciendo una selección adecuada de la tarifa que corresponde a la empresa, con el manejo de la demanda máxima, el sistema de generación y distribución de vapor, los sistemas motrices utilizados en el proceso, los sistemas de iluminación y aire acondicionado.
- e) La valoración económica dada a los residuos, tomando en cuenta su posible reutilización o reciclaje, la recuperación de materiales valiosos, la recuperación de energía.
- f) El manejo de los residuos es el último punto listado, en el que se hace énfasis, ya que una adecuada separación, segregación y disposición de los residuos está ligada con la valorización y el beneficio económico que se pueda alcanzar.

Figura 1.1 Esquema de sostenibilidad de Lehni



Fuente: Lehni (2000)

Cada punto se puede desarrollar por separado o de manera integrada, de acuerdo a las condiciones de cada empresa, proceso o fase del mismo.

1.3 Responsabilidad Social Corporativa.

1.3.1 Antecedentes

La responsabilidad social corporativa es un concepto controvertido, ya que considera que la conducta empresarial no debe dirigirse exclusivamente a la generación de utilidades sino que debe incorporar en sus estrategias aspectos sociales y ambientales (Prado *et al*, 2004).

Las prácticas socialmente responsables de los agentes privados (empresas) tienen sus antecedentes en el siglo XIX, en este tiempo estas acciones eran mostradas como actos de caridad. Posteriormente en el siglo XX surge la sociedad civil, con una fuerte incidencia en el desarrollo de la filantropía caracterizada por donaciones financieras y no financieras. En ambos casos se aprecia un acto informal, que no tiene nada que ver con las estrategias de la empresa (Friedman, 2000).

Posterior a la Segunda Guerra Mundial, la responsabilidad social se empieza a ver más allá de una aportación económica o donativo. Es así que entre los años treinta y ochenta las actividades sociales se formalizan a través de la figura jurídica de las fundaciones de carácter corporativo. Desde esta perspectiva, las grandes empresas inician la gestación de la responsabilidad social a nivel interno, es decir, enfocada a sus propios empleados (Jenkins, 2001).

En los años ochenta emerge el concepto de inversión social en donde se promueve que la empresa no solo asista las necesidades internas sino que incentive el desarrollo de las comunidades. Al mismo tiempo tomaron mayor importancia las políticas de gestión ambiental y el desarrollo sustentable (Machado *et al*, 2002).

Finalmente, en los noventa comienza a utilizarse el concepto de “Responsabilidad social empresarial”. La tendencia en los últimos años muestra que la acepción del concepto es más amplia y que hay una creciente implementación en sus prácticas (Logan *et al*, 1997).

En resumen, el concepto ha evolucionado desde la caridad – filantropía – a la inversión social. Actualmente la responsabilidad social empresarial va más allá de dar donativos o llevar a cabo actos de caridad; consiste en acciones realizadas por la propia empresa hacia el interior y exterior, mismas que están integradas en sus estrategias de desarrollo y cuya puesta en marcha resulta en un cambio cultural y bienestar de los involucrados.

1.3.2. Definición del concepto

La Responsabilidad Social Corporativa (RSC) llamada en otros países como responsabilidad social empresarial (RSE) o empresas socialmente responsables (ESR) ha tenido vasta discusión respecto a su definición y origen. Para Bowen, la RSC es la obligación del empresario de actuar de una manera acorde con los valores sociales (Falck y Heblich, 2007). Después del Informe Brundtland en 1987, se desarrollaron diversos enfoques de la RSC tratando de incorporar las cuestiones ambientales en las decisiones empresariales.

En los últimos años, la RSC ha tenido enfoques diversos desde la ética, la filosofía y la política; lo que ha ocasionado que su discusión sea más compleja y su concepción *per se*,

se altere creando confusión entre los actores involucrados: empresarios, gobiernos y consumidores (Montes, 2008). Inmersos en el debate del concepto, dichos actores buscan pasar de la teoría a la práctica buscando llegar a la sustentabilidad (Ranganathan, 1998). La RSC puede visualizarse como una manera práctica de alcanzar esa sustentabilidad en las empresas y que impacta positivamente a la sociedad y al ambiente.

Correa *et al* (2004), señalan tres propuestas de actores claves que representan la perspectiva del sector privado y que presentan los elementos comunes en la visión moderna de la RSE. Por un lado, la WBCSD de Suiza, hace referencia a la RSC desde un enfoque ético, es decir, se muestra como un compromiso asumido por la empresa, en conjunto con sus empleados, sus familias, la comunidad local y la sociedad. Por otro lado, The Prince of Wales Business Leadership Forum (PWBLF) de Inglaterra, asume la RSC como el conjunto de prácticas empresariales basadas en el respeto hacia los empleados, las comunidades y el ambiente. Finalmente, para Business for Social Responsibility (BSR), de Estados Unidos, presenta un enfoque normativo, definiendo la RSC como la administración de un negocio de manera que cumpla o sobrepase las expectativas éticas, legales, comerciales y públicas.

Para Corral *et al* (2005), es la integración por parte de las empresas, de la preocupación social y medio-ambiental en las actividades empresariales diarias y en las relaciones con los actores involucrados, siempre desde una perspectiva voluntaria.

En México el concepto de RSC más aceptado es el propuesto por el Centro Mexicano para la Filantropía (CEMEFI), el cual tiene mayor congruencia con la definición de desarrollo sustentable y señala que una empresa socialmente responsable es aquella que tiene un compromiso consciente y congruente para cumplir íntegramente con su finalidad interna (trabajadores, accionistas, autoridades) y externa (clientes, proveedores, medio ambiente, gobierno, etc.), considerando los intereses de todos los participantes en lo económico, social o humano y en lo ambiental, respetando los valores éticos, la gente, las comunidades, el medio ambiente y para la construcción del bien común (Cajiga, 2008).

De acuerdo a la CEMEFI se deben cubrir cuatro requisitos básicos para ser una ESR, éstos deben contribuir a la calidad de vida de la gente dentro de la organización, cuidar y preservar el medio ambiente, desempeñarse con un código de ética y relacionarse

con la comunidad a partir de la misión de la organización, pero también de los bienes y servicios producidos (Cajiga, 2008).

1.3.3. Importancia de la RSC en las Pymes

De acuerdo al extenso estudio realizado por Corral *et al* (2005), la RSC se dio primeramente en empresas grandes. La aplicación de este concepto en Pymes se ve reflejada en función del tamaño de la empresa, es decir, en Pymes más grandes se presenta mayor atención que en aquellas más pequeñas. El mismo autor menciona que aquellas empresas dedicadas a la exportación con mayor frecuencia obedecen a principios y requisitos que requiere para ser una ESR.

Continuando con el caso de las Pymes, la actitud de una ESR está dada por presión social, tanto de los actores internos como externos. Las propias empresas consideran que la tendencia es que la sociedad demande cada vez más un comportamiento social y ambientalmente responsable.

Paladino (2004) abunda en que las actividades ESR que las Pymes realizan hacia afuera de la organización predominantemente son reactivas, esporádicas y fragmentadas; actividades que no están incorporadas como estrategia de las empresas

En este sentido se observa que la RSC está en etapa inicial en las pequeñas y medianas empresas, en este sentido es necesaria la búsqueda de mejores acciones que permitan que las empresas vayan incorporando características, mecanismos y estrategias para ser empresas socialmente responsables. Desde el punto de vista competitivo, un cambio de conducta que permita a las empresas ser más benéficas social y ambientalmente puede llevarlas a una mejoría económica (Correa *et al*, 2004).

Barroso (2007) muestra algunos estudios donde indica que existe una correlación positiva entre el desempeño social de las empresas y su desempeño financiero, es decir que las prácticas socialmente responsables permiten que al interior de la empresa se desarrollen otras actividades como la innovación tecnológica y el aprendizaje organizacional, favoreciendo la interacción entre todos los involucrados en la compañía.

Medina (2008) profundiza en el concepto y lo lleva más allá del cumplimiento de la ley, por ejemplo en materia de formación o capacitación, condiciones laborales o relaciones

entre la dirección y los trabajadores, también indica que la RSE puede incidir directamente en la productividad, permitiendo que se dé un cambio a la par del desarrollo social y el aumento de la competitividad.

1.4 Sistemas de gestión ambiental. El caso de la ISO14000

La industria maquiladora y en particularmente las empresas dedicadas al giro de la electrónica, han tenido que adaptarse al panorama de competitividad cuyo objetivo principal es la participación en los mercados de exportación, en países tales como los Estados Unidos. Esta situación ha provocado que se requieran sistemas que proporcionen ventajas sobre sus competidores

Estos sistemas forman parte de la gestión ambiental la cual es definida por la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (2001) como el conjunto de acciones e iniciativas que la sociedad realiza a favor del medio ambiente y sus principales componentes son la política, el derecho y la administración ambiental.

Como parte de la estrategia competitiva las empresas han integrado a sus organizaciones sistemas, principios y prácticas enfocadas a la calidad (por ejemplo Kanban, Poka Yoke y 5's entre otros) y de igual forma su apego a sistemas ambientales que tengan reconocimientos internacionales y les permita incursionar en otros mercados. Dichos sistemas ambientales han permitido que grandes corporativos o empresas transnacionales lleven un control más estricto de su cumplimiento ambiental, dirigido en gran medida por el requerimiento de sus clientes más que por las exigencias gubernamentales (Jenkins y Mercado, 2008).

Una de las certificaciones ambientales más conocidas es la ISO 14000, que de acuerdo con la International Organization for Standardization (ISO) la define como la *“serie de normativas que proveen a la gerencia con la estructura para administrar un sistema de gestión ambiental. Incluye disciplinas en gestión ambiental, inspecciones, evaluación, auditoría en la gestión de protección al medio ambiente, eco-estampado/etiquetas/sellos y normalización de productos”*.

Este sistema se puede complementar con seguridad, salud ocupacional y sistemas de gestión de calidad como ISO 9001 que permitan lograr la formación de un sistema de

gerencia integral. Este enfoque ha permitido que la ISO 14000 tenga mayor demanda entre las empresas al seleccionar un sistema o programa ambiental voluntario. Incluso ha servido para que grandes empresas creen sus propios modelos de certificación ambiental volviéndose obligatorios para sus proveedores.

Es así que empresas como Samsung y Sony, líderes en la electrónica, requieran a sus proveedores certificaciones como Green Management y GreenPartner, respectivamente, con el propósito de minimizar los riesgos a la salud que pueda tener el consumidor final. Es práctica común que empresas proveedoras implementen acciones desde el diseño de los productos usando materias primas amigables con el ambiente que minimicen el impacto ambiental durante el ciclo de vida de los aparatos electrónicos (Sony Corporation on line).

Es importante señalar que esta certificación encuentra mayor demanda en grandes empresas más que en Pymes, mucho tiene que ver el alto costo que implica la certificación, por lo que se vuelve una herramienta poco accesible y que limita la competitividad de estas últimas empresas.

Certificaciones como las mencionadas antes apoyan los principios de desarrollo sustentable, la protección del medio ambiente y la prevención de la contaminación, y así indirectamente ayudan al cumplimiento del marco regulatorio ambiental de las empresa. Sin embargo, dichas certificaciones no tiene reconocimiento gubernamental, bajo la lógica de que cubrir los puntos mencionados no garantiza el cumplimiento de las normas establecidas en las leyes ambientales *per se*.

1.5 Modelo de producción limpia para el ensamble de componentes electrónicos ECOPLAMEX⁵

Cada uno de los conceptos abordados con anterioridad se incorporaron en diferentes grados en el diseño de lo que se denominó “modelo de producción limpia ECOPLAMEX”; herramienta auxiliadora en la toma de decisiones para mejora del desempeño ambiental y cuyo objetivo final es el de minimizar la contaminación al incorporar prácticas de

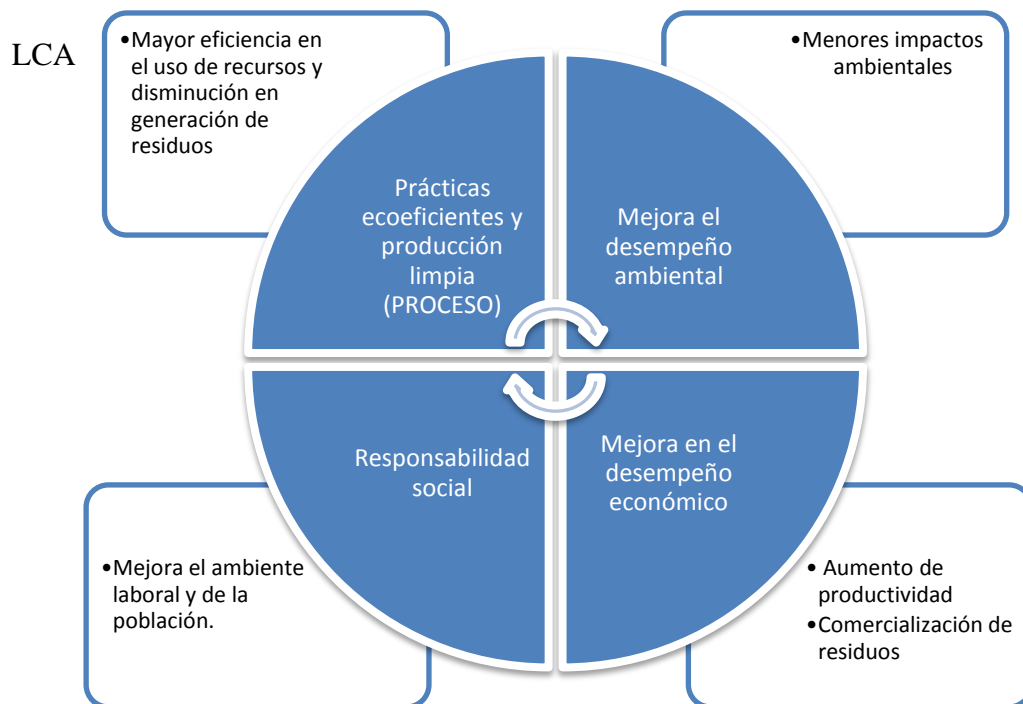
⁵ ECOPLAMEX: Modelo de producción limpia basado en prácticas ecoeficientes y producción limpia, planteado en esta investigación. El nombre está basado en los conceptos principales involucrados ECO: ecoeficiencia, economía y ecología, PL: producción limpia, AM: ambiente, EX: Ejecutable.

ecoeficiencia y producción más limpia en los procesos de la industria de ensamble de electrónicos. Ver Figura 1.2.

El desempeño ambiental en ECOPLAMEX es dado en porcentaje, considerando los indicadores dados tanto en el cumplimiento de las normatividades aplicables al sector, como en el sistema de gestión ambiental internacional (ISO 14000); incorporando tanto el cumplimiento de la normatividad como las exigencias actuales de mercado.

El modelo de producción limpia presentado aquí propone con base en acciones realizadas y comprobadas por empresas grandes, que la aplicación de estos conceptos tendrá impactos similares a nivel de Pymes.

Figura 1.2 Desarrollo del modelo de producción limpia para la industria de ensamble de electrónicos “ECOPLAMEX”



Fuente: Elaboración propia.

CAPÍTULO II LA METODOLOGÍA DEL ANÁLISIS DEL CICLO DE VIDA APLICADA AL ENSAMBLE DE ELECTRÓNICOS

El presente capítulo se divide en cuatro secciones cada una correspondiendo a las etapas de la metodología - ISO 14040 - utilizada para desarrollar el diseño del modelo de producción limpia propuesto en esta tesis: análisis de ciclo de vida (LCA por sus siglas en inglés). La metodología fue aplicada para analizar los procesos representativos de las empresas dedicadas al ensamble de electrónicos.

La primera sección muestra una descripción general de la metodología usada; las etapas que la componen y cómo se lleva a cabo cada una de ellas.

La segunda sección corresponde a la definición y alcance del estudio con un énfasis en la definición del sistema caracterizado. En donde se establece el objetivo que se persigue al realizar el análisis de los procesos seleccionados en función de su importancia y representatividad. Asimismo, se describe el proceso de selección de la muestra utilizando métodos estadísticos mediante el programa SPSS versión 15.0.

Así, la segunda sección parte de un análisis estadístico descriptivo y exploratorio, para posteriormente estratificar por tamaño de empresa seguida de una división por procesos llevados a cabo por las empresas. Se tomó la decisión de clasificar de esta manera para poder evaluar el desempeño ambiental en diferentes estratos; por otro lado la caracterización por procesos representativos intentó capturar el comportamiento productivo general de la industria de la electrónica.

La tercera sección corresponde al análisis de inventario en donde se describe el procedimiento para la recopilación de variables ambientales a través de una herramienta diseñada en esta investigación a la que se le denominó “Inventario de Insumos y Desechos” (incluido en el Anexo 2). La recopilación de datos se llevó a cabo a través de visitas programadas a las empresas seleccionadas, como se detallara más adelante. Con la información colectada se construyó una base de datos.

La cuarta sección está enfocada al análisis de los impactos, con el objetivo de identificar puntos ambientales críticos de los procesos analizados susceptibles de mejora. Es conveniente aclarar que la última sección del análisis del ciclo de vida es desarrollada en el capítulo cuatro donde se discute ampliamente la interpretación de los datos y cómo éstos

permiten el diseño del modelo de producción limpia proponiendo acciones ecoeficientes en las fases del proceso que puedan mejorar el desempeño ambiental de las Pymes.

2.1 Generalidades

De acuerdo a la ISO 14040, el análisis de ciclo de vida se define como la compilación y caracterización de entradas, salidas e impactos ambientales potenciales de un sistema de producción a través de su ciclo de vida. Es una herramienta de análisis de las cargas ambientales de los productos en todas las fases de su ciclo de vida, desde la extracción de recursos, la producción de materiales, las partes del producto, el propio producto; así como el manejo del producto posterior a su uso si es descargado, reusado, reciclado o dispuesto (Guinée *et al.*, 2001).

En este estudio se realizó en la modalidad “gate to gate” (de puerta a puerta). Esta modalidad respeta la metodología LCA que consiste de cuatro etapas principales (ver Figura 2.1):

1. Definición del objetivo y alcance del sistema a evaluar
2. Análisis del inventario de datos obtenidos
3. Análisis de los impactos ambientales
4. Análisis de interpretación

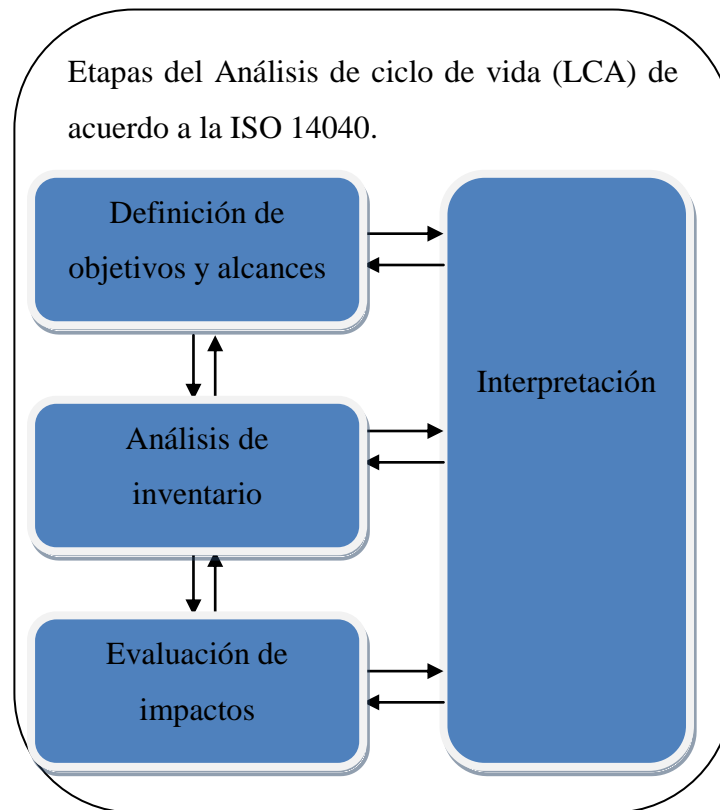
Como se puede apreciar en la Figura 2.1, en cada fase hay un proceso de retroalimentación que permite ir haciendo las adecuaciones o ajustes de acuerdo a las necesidades y los hallazgos conforme se avance en la etapa correspondiente.

2.2 Objetivo, alcance y delimitación del sistema

Se seleccionó el sector de la electrónica dada su relevancia en Tijuana y por la problemática ambiental que presenta. Dentro de la industria de la electrónica existe una gran diversidad de productos manufacturados o maquilados, por lo que se seleccionaron los procesos más representativos de las empresas dedicadas al ensamble de electrónicos y se identificaron los

impactos ambientales de dichos procesos esta industria. Esta selección se realizó a través de un análisis estadístico para garantizar dicha representatividad.

Figura 2.1 Esquema del análisis de ciclo de vida de acuerdo a la ISO 14040



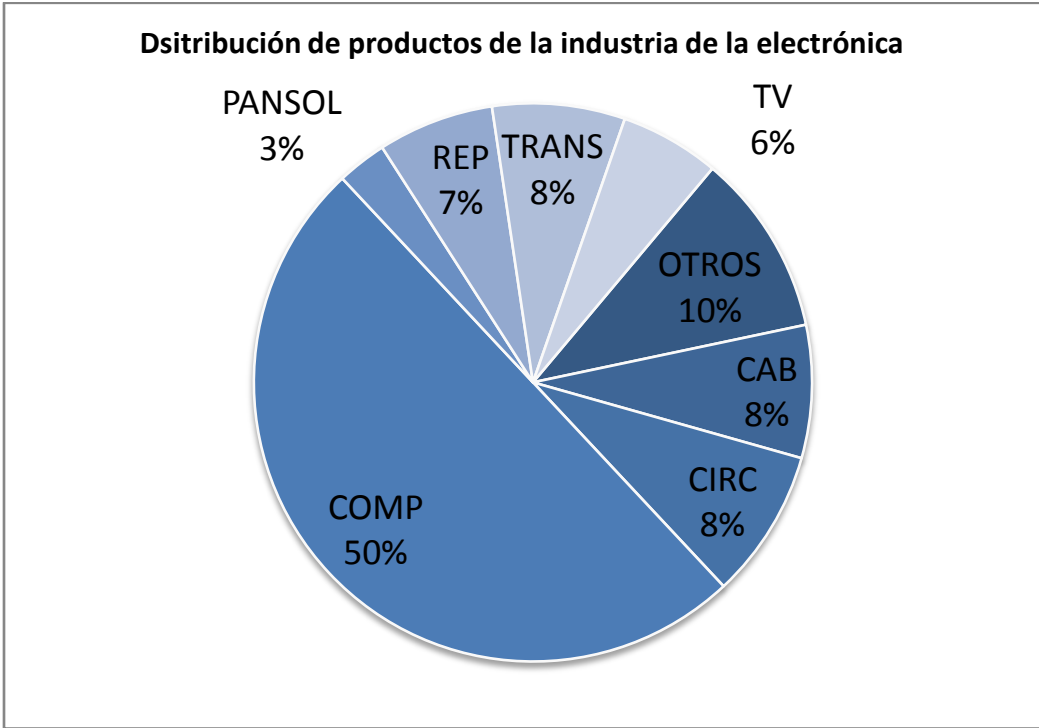
Fuente: Guinée *et al.*, (2001).

2.2.1. Procesos

La industria de la electrónica en Tijuana es uno de los giros con mayor número de establecimientos (Carrillo y Gomis, 2004; SEDECO, 2009; CANACINTRA, 2009). Esta industria se dedica tanto a la manufactura de productos terminados como al ensamble de partes y componentes para TV, la industria aeroespacial y la industria automotriz, fundamentalmente.

De acuerdo al directorio de la CANACINTRA y la SEDECO correspondiente al 2009, ciento cuatro empresas están dadas de alta como maquiladoras dedicadas a la industria de la electrónica en Tijuana. Entre los procesos más importantes se encuentran el ensamble de componentes electrónicos (COMP) con 50 por ciento, el ensamble de placas de circuitos (CIRC) con 9 por ciento, ensamble de transformadores (TRANS) con 8 por ciento y el ensamble de la TV con 6 por ciento. Hay otros productos como paneles solares (PANSOL), cables y arneses (CAB), reparación de equipos electrónicos (REP) y en la categoría “Otros” se encuentran diversos tipos de productos (OTROS). Tal como se muestra en el Gráfico 2.1.

Gráfico 2.1 Productos de la industria de la electrónica en Tijuana



Fuente: Elaboración propia con base en directorio de CANACINTRA y SEDECO (2009).

De acuerdo a la distribución mostrada en el Gráfico 2.1., el ensamble de componentes es el proceso de mayor frecuencia en las empresas dedicadas a la maquila de la electrónica.

Es así que en este trabajo de investigación se han seleccionado los procesos de ensamble de componentes como principal objeto de estudio, sin embargo debido a su relevancia desde el punto de vista ambiental se incluyeron los procesos de ensamble de placas de circuitos electrónicos y el ensamble de transformadores, ya que en dichos procesos se presentan mayor potencial de impacto ambiental que el resto de los procesos, en términos de consumo de energía eléctrica, generación de residuos peligrosos y emisiones atmosféricas (Montalvo, 1992; García, 1998; Kopinak y Guzmán, 2005). Así, bajo esta consideración en esta investigación se está cubriendo 66 por ciento de la industria electrónica en Tijuana.

2.2.1.1 Caracterización de los procesos representativos

Ensamble de electrónicos

Todo equipo electrónico está constituido por diversas partes y componentes. De acuerdo a la electrónica, componente es todo dispositivo interconectado tales como transistores, resistencias y capacitores, entre otros que forman parte de un circuito electrónico. Los componentes se clasifican en dos categorías: activos o pasivos. Entre los componentes pasivos se incluyen los reóstatos, los condensadores y los inductores. Por otro lado, los componentes activos incluyen baterías (o pilas), generadores, tubos de vacío, y transistores (Boylestad y Nashelsky, 2003).

Aún cuando existe una gran diversidad de empresas y procesos llevados a cabo en el giro de la electrónica, los procesos pueden simplificarse en etapas generales como se propone en el diagrama de bloques mostrado en el Gráfico 2.3.

Como se observa los procesos fundamentales para producir componentes electrónicos son: 1) ensamble o inserción que puede ser manual o automático, seguido de 2) soldadura, pasando por una fase de 3) verificación, seguida del 4) acabado para llegar a la fase final en donde se 5) empaca y se envía al cliente.

En lenguaje de la metodología de análisis de ciclo de vida (Durucan *et al*, 2006), se diría que la vida del ensamblaje de electrónicos se compone de cinco unidades de procesos; es importante subrayar dos aspectos a este punto. El primero es que se pueden presentar variaciones al diagrama presentado en la Figura 2.2.

El segundo es que hay eventos antes y después del proceso de ensamblaje de componentes electrónicos, todos y cada uno de ellos con la probable ocurrencia de impactos ambientales, tales como la producción del componente mismo y el transporte al lugar del ensamblado por listar actividades que pasaron antes; o transporte del electrónicos para integración de un electrodoméstico final como un refrigerador o una televisión por nombrar un evento que sucede después del ensamblado mostrado en la Figura 2.2.

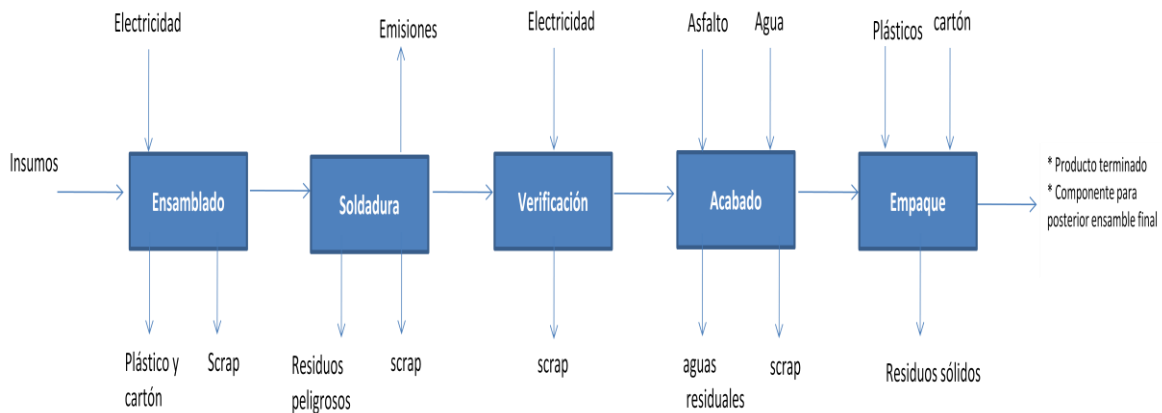
Así y una vez más recurriendo al lenguaje de LCA, el alcance del análisis de ciclo de vida propuesto en esta investigación comprende exclusivamente las fases del proceso mostradas en la Figura 2.2.: ensamblado, soldadura, verificación, acabado y empaque.

No es trivial remarcar que las fases del proceso se dan *in situ*, en las maquiladoras ensambladoras en Tijuana. Esto último en gran medida motivado por identificar acciones en la jurisdicción de los tomadores de decisiones.

De acuerdo a la revisión de la literatura y analizando la naturaleza de los propios procesos se identifica en cada punto del proceso tanto las entradas de recursos como agua, energía y materias primas así como las salidas de residuos y emisiones en cada fase, mismas que de igual manera se ilustran en la Figura 2.2.

En términos generales, los procesos de ensamble de placas de circuitos electrónicos y el ensamble de transformadores procesos son similares a los procesos de ensamblado de electrónicos mostrados en la Figura 2.2., la variabilidad se da sobretodo en el orden de los procesos, para efectos de esta investigación el diagrama de bloques mostrado en la Figura 2.2 es representativo del ensamble de placas de circuitos electrónicos, del ensamble de transformadores y del ensamblado de componentes electrónicos.

Figura 2.2 Diagrama de bloques del proceso de ensamble de electrónicos



Fuente: Elaboración propia con base en García (1998).

2.2.2 Empresas

Para seleccionar la muestra con la que se trabajó, se inició con la creación de una base de datos a partir del directorio de maquiladoras 2009 publicado por la Cámara Nacional de la Industria de Transformación en conjunto con la Secretaría de Desarrollo Económico del Estado de Baja California. Con base en este directorio se seleccionaron las empresas cuyo giro se encuentra establecido como industria electrónica clasificándolas por tamaño de acuerdo al número de empleados quedando con la siguiente estratificación:

Micro empresa (de 1 a 10 empleados)

Pequeña empresa (de 10 a 100 empleados)

Mediana empresa (de 100 a 250 empleados)

Grande empresa (más de 250 empleados)

En total se segregaron ciento cuatro empresas registradas como maquiladoras en el giro de la industria electrónica y se procedió a un análisis estadístico descriptivo como se muestra en el Anexo 1. De acuerdo a la estratificación 37 por ciento corresponde a las grandes empresas, 22 por ciento a las medianas, 37 por ciento a las pequeñas y 2 por ciento restante a las microempresas. Con estos datos se tiene identificado que 59 por ciento de las empresas dedicadas a la industria electrónica son Pymes, las cuales son parte fundamental del objeto del presente estudio.

De igual forma se realizó el análisis de acuerdo a los procesos que se llevan a cabo en las industrias, entre los que destacan el ensamble de circuitos electrónicos, ensamble de transformadores y ensamble de componentes. Estos procesos se dan a nivel de pequeñas y medianas empresas. La participación conjunta de estos giros corresponde a un 66 por ciento del total de la industria de la electrónica. Es importante mencionar que estos procesos corresponden a componentes principales en el ensamble de productos terminados de la industria de telecomunicaciones, automotriz y aeroespacial, sobresaliendo el ensamble de componentes para la TV; como se muestra en el Cuadro 2.1.

De las ciento cuatro empresas se contactaron cincuenta plantas. De esta muestra se consiguió que veintitrés participaran en el proyecto proporcionando los datos solicitados.

La distribución de las veintitrés plantas, mostrada en el Cuadro 2.2., se realizó en función del tamaño de empresa y también en función del proceso.

Esta muestra es representativa para la maquiladora dedicada al ensamble de electrónicos, y de acuerdo al análisis estadístico (Anexo 1), el proceso de ensamble de componentes está representado en un 31 por ciento, el ensamble de circuitos en un 66 por ciento y el de transformadores 12.5 por ciento (Gráfico 2.2).

Cuadro 2.1 Distribución de la muestra de acuerdo a la empresa a la que provee.

Provee a:		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válidos	TV	13	56.5	56.5	56.5
	Aeroespacial	2	8.7	8.7	65.2
	Telecomunicaciones	4	17.4	17.4	82.6
	Automotriz	2	8.7	8.7	91.3
	OEM ⁶	2	8.7	8.7	100.0
	Total	23	100.0	100.0	

Fuente: Elaboración propia a partir del inventario de insumos y desechos.

⁶ OEM: Por sus siglas en inglés Original Equipment Manufacturer. Son aquellas empresas en donde se realiza el ensamble o manufactura de productos con su propia marca, con las marcas de sus clientes, incluso pueden fabricar el mismo producto para diferentes clientes.

El cuadro 2.3 muestra el promedio de la producción mensual de las veintitrés empresas participantes y de igual modo el número de empleados laborando en el momento de la recolección de datos. Este panorama permitirá establecer una relación entre la cantidad de piezas producidas y la dimensión de los impactos ambientales derivados del ensamble de electrónicos. Se considera un promedio, solo para establecer un comparativo, considerando que existe diversidad tanto en los productos como en el número de piezas fabricadas.

Cuadro 2.2 Número de empresas con base en tamaño de empleo y proceso

Tamaño de empleo	Proceso de Ensamble			Total
	Componentes	Circuitos	Transformadores	
Grande	8	2	0	10
Mediana	4	2	0	6
Pequeña	4	2	1	7
Total	16	6	1	23

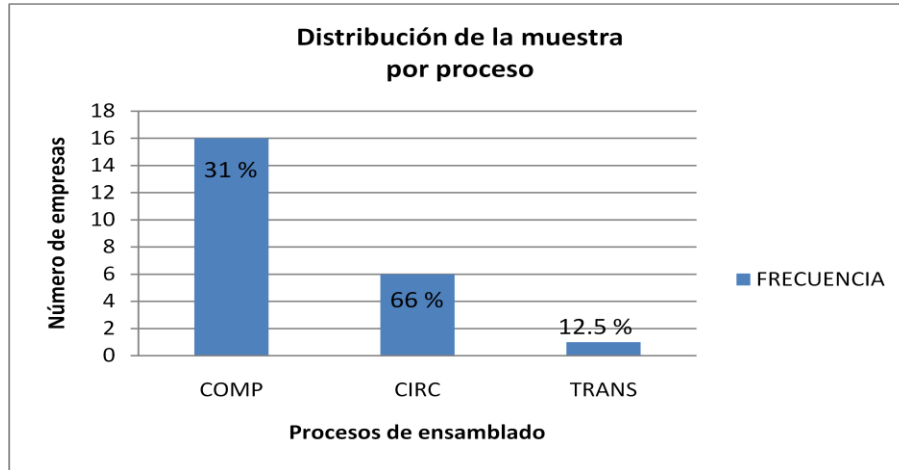
Fuente: Elaboración propia

Cuadro 2.3 Promedio mensual de la producción y tamaño de empleo

	Promedio mensual	
	Producción (pzas.)	Tamaño de empleo (no. de empleados)
Grande	806123	800
Mediana	171660	160
Pequeña	8285	50

Fuente: Elaboración propia

Gráfico 2.2 Distribución de la muestra por proceso de ensamble



Fuente: Elaboración propia

2.2.3. Escala temporal y espacial

Respecto a la escala espacial, el estudio se llevó a cabo en la ciudad de Tijuana por su carácter emblemático de la rápida industrialización de la maquiladora y su subsecuente impacto ambiental; como se mencionó con anterioridad, este municipio concentra el 20 por ciento de la industria maquiladora del total nacional, y el 63 por ciento respecto al total del Estado (INEGI, 2007).

En referencia a la escala temporal, los datos recolectados en el “Inventario de Insumo y Emisiones” son representativos del año 2009, el análisis previo al trabajo de campo se concentró en la revisión de datos del período de 1995 al 2009, ya que representa una etapa de evolución importante y ampliamente reportada por el INEGI, CESPT, SEMARNAT, SE, y la encuesta “Aprendizaje tecnológico y escalamiento industrial en plantas maquiladoras”; estas fuentes muestran algunas razones relevantes de tal evolución de las cuales se pueden listar:

- 1) El crecimiento económico de la industria maquiladora en la zona fronteriza y específicamente en Tijuana, aunque es relevante mencionar que en el período 2001-2003 presentó una disminución y posterior repunte de las maquiladoras en operación (Contreras, 2008).

- 2) El incremento sustancial del número de empresas (INEGI, 2007)
- 3) La relación indirectamente proporcional que guardan el impacto al ambiente (y por ende el avance en el desempeño ambiental) y la rápida industrialización como lo muestran los trabajos de Lara *et al* (2007), Carrillo y Gomis (2004) y González y Barajas (2004).

2.2.4. Inclusiones

Aún cuando el consumo de energía eléctrica en la industria maquiladora no forma parte del sistema principal que se está analizando, se incluyó dentro de la evaluación; debido a que los procesos seleccionados demandan ese recurso. El consumo energético, debe recordarse, es un importante contribuyente al cambio climático.

2.2.5 Exclusiones

Es relevante indicar que dentro de los procesos de ensamblaje de componentes, un caso particular es el ensamble de la TV que de acuerdo a lo ampliamente estudiado por Carrillo y Gomis, 2004 y Carrillo y Contreras, 2004; es un segmento de la electrónica con relevante importancia a partir de la apertura del TLCAN. El desarrollo de este segmento contribuyó a la creación de una extensa red de proveedores nacionales y extranjeros; y el segmento mismo se hizo exclusivo de grandes empresas. A pesar de su gran importancia, este segmento en particular no está incluido en este estudio por dos razones, la primera es que este estudio se llevó a cabo a nivel de pequeñas y medianas empresas, y la segunda es que el tema es tan amplio que amerita un estudio exclusivo.

En resumen, en esta investigación se aplicó la metodología LCA en los procesos representativos de ensamble de electrónicos de la pequeña y mediana empresa en Tijuana. Los procesos seleccionados fueron: ensamble de componentes electrónicos, ensamble de circuitos electrónicos y ensamble de transformadores. Una vez seleccionada e identificada la muestra se prosiguió al trabajo de campo para reunir la información necesaria.

2.3 Análisis del inventario

El análisis de inventario se efectuó recopilando la información de las entradas y salidas relevantes del sistema propuesto -mostrado en la Figura 2.2.-, se identificaron entradas y salidas en cada uno de los procesos analizados, con base en dicha observación se preparó un formato de inventario que se usó para visitar las empresas participantes. El formato fue diseñado de manera flexible para dar lugar a información que se encontrase relevante durante la visita y que no se hubiese identificado durante el diseño.

2.3.1 Levantamiento del inventario de recursos y desechos para la caracterización de variables ambientales

Este procedimiento se llevó a cabo durante el trabajo de campo, con el fin de recopilar información del consumo de recursos como agua y energía, de la generación de residuos tanto peligrosos como no peligrosos así como de la generación de emisiones atmosféricas; toda esta información tiene que ver directamente con el desempeño ambiental, incluidas las veintitrés empresas dedicadas al ensamble de electrónicos.

Primero se diseñó la herramienta a utilizar con previa revisión de la literatura y de estudios anteriores de los procesos representativos seleccionados (Montalvo, 1992; García, 1998), con el fin de identificar las variables ambientales en cada fase del proceso e integrarlas en la propuesta. Este instrumento se denominó “Inventario de Insumos y Desechos” el cual se encuentra en el Anexo 2.

Al contactar a cada empresa se le envió el formato vía electrónica previamente a la visita, para que lo analizaran y tuvieran oportunidad de integrar la información que se solicitaba o para aclarar alguna duda al respecto.

Además del llenado del formato, se solicitó realizar una visita y dar un recorrido en el proceso con el fin de corroborar que las fases del proceso de las empresas correspondieran con las fases teóricas propuestas.

El recorrido permitió aclarar las dudas que surgieron durante el mismo y de esta manera poder realizar las adecuaciones necesarias de la herramienta de acuerdo a las fases del proceso vigentes en las empresas.

Es conveniente decir que la información fue obtenida en un 80 por ciento por las personas asignadas por la empresa (ingenieros de proceso o supervisores, coordinadores ambientales, jefes de recursos humanos), es decir, se asume que los datos recopilados son los representativos de cada fase del proceso.

La información del 20 por ciento restante fue registrada directamente en la visita, a partir de concentrados de consumos de energía, agua, empaque y solventes, proporcionados por la empresa, de los manifiestos de envío de residuos peligrosos y de los análisis de compuestos orgánicos volátiles realizados por laboratorios certificados, todos estos datos de al menos un año de antigüedad, se usaron para evaluar el comportamiento y obtener una cifra representativa de cada variable solicitada.

La recopilación de los inventarios se realizó de acuerdo a la calendarización otorgada por cada empresa. Se hicieron los ajustes al formato de acuerdo a las primeras visitas realizadas con el objetivo de plantear con mayor claridad los datos que se requerían, asimismo para reducir el tiempo de entrevista a los encargados y se consiguiera la información necesaria.

Es conveniente decir que el proceso que llevó establecer contacto con los responsables de las empresas o de las áreas involucradas, agendar una cita y realizar la visita varió por empresa, sin embargo generalmente fue un período largo. Este proceso previo llevó alrededor de treinta días por empresa.

Uno de los principales obstáculos para poder conseguir el apoyo de las empresas fue la incertidumbre en el tratamiento de los datos por lo que se realizó un convenio de confidencialidad para dar mayor confianza y poder establecer mejor relación con las empresas. Por esta razón en el presente trabajo no se revela la identidad de ninguna de ellas.

Una vez realizadas las visitas programadas se procedió a concentrar la información de las variables obtenidas para continuar con los análisis correspondientes.

2.4 Análisis de impactos

Con la información obtenida del inventario fue posible identificar “cargas ambientales” (emisiones atmosféricas, efluentes y generación de residuos) en cada uno de los procesos representativos, en suficientes casos tales cargas ambientales se desglosaron hasta su

composición, esta minuciosa asignación de cargas y fuentes permitió detectar impactos potenciales.

En esta sección se analizan los impactos ambientales potenciales derivados del proceso que se lleva a cabo en el ensamble de electrónicos. Algunos de los impactos detectados durante el análisis teórico de los procesos y posteriormente con las visitas son: la generación de aguas residuales, la generación de residuos peligrosos y no peligrosos, la generación de emisiones derivadas del uso de la energía eléctrica, y la generación de compuestos orgánicos volátiles (COV).

Una vez identificados, los impactos fueron categorizados en función de las siguientes categorías básicas de LCA: cambio climático, toxicidad humana, ecotoxicidad, foto-oxidación, agotamiento de recursos, agotamiento de ozono estratosférico. Los impactos en una misma categoría se estimaron en una base equivalente y posteriormente fueron sumados para dar un indicador por categoría usando la siguiente ecuación general:

$$CA = \sum_i Factor_i \times m_i \quad \text{Ecuación 2.1}$$

donde: CA: Cargas ambientales

Factor: es la base equivalente dependiendo de la categoría

m: la cantidad en kg. de la sustancia o compuesto que está impactando.

Por ejemplo, la categoría de cambio climático de acuerdo a Guinée *et al* (2001) está definida como:

$$\text{Cambio climático} = \sum_i GWP_{a,i} \times m_i \quad \text{Ecuación 2.2}$$

donde: Global Warming Potential (GWP): factor potencial de cambio climático de la sustancia.

m: masa del contaminante (kg).

Los factores por categoría se tomaron de los extensos listados de Guinée *et al* (2001). Lyfe cycle assessment. An operational guide to the ISO standards.

2.4.1 Identificación de los impactos.

De la naturaleza de los procesos, el análisis de los datos y la revisión bibliográfica se establecieron que los impactos ambientales derivados del ensamble de electrónicos son:

Contribución al cambio climático o huella de carbono.

En el proceso de ensamble de electrónicos se ha considerado esta categoría ya que todas las empresas registran consumo de energía eléctrica, misma que se genera en Baja California primordialmente mediante la combustión de gas natural (cuya combustión genera 380 g CO₂/kWh) (Muñoz *et al*, 2010), dando paso a la formación de gases efecto invernadero (GEI) y por ende contribuyendo al cambio climático. Es importante comentar que ninguna de las empresas visitadas tiene generación *in situ* por lo que el total de su demanda debe ser cubierta por la Comisión Federal de Electricidad (CFE).

Ecotoxicidad.

Esta categoría abarca los impactos de las sustancias tóxicas y los residuos peligrosos generados en la industria y descargados en los ecosistemas acuáticos, terrestres y en sedimentos. En los procesos de ensamble se utilizan materiales como solventes, soldaduras, fluxes, asbesto, y se generan residuos como escoria de soldadura, sólidos impregnados de solventes, entre otros; los cuales son considerados como tóxicos por las características de sus componentes.

Toxicidad humana.

Se refiere a las sustancias tóxicas que pueden tener impacto en la salud humana cuando existe algún riesgo de exposición en su lugar de trabajo o en el ambiente. Como se mencionó el uso de sustancias tóxicas dentro del proceso es considerado como factor potencial en esta categoría.

Formación de agentes foto-oxidantes.

Se refiere a la formación de compuestos químicos reactivos (o sustancias secundarias) producidos por la acción del sol sobre cierto tipo de contaminantes, tales como

solventes. Hay que remarcar que éstos son esenciales en todas las industrias dedicadas al ensamble de electrónicos durante las fases de ensamble y soldadura.

2.5 Evaluación de impactos

En esta sección se muestran gráficas comparativas de cada una de las categorías establecidas de acuerdo a los impactos ambientales potenciales.

Huella de carbono

En la categoría de huella de carbono se llevó a cabo una comparación tanto por el tamaño de empresa como por tipo de proceso de ensamble; como se muestra en el gráfico 2.3 el proceso de ensamble de circuitos registra una mayor aportación al cambio climático. También es evidente que la pequeña empresa tiene menor eficiencia en el uso de energía de ahí que el impacto sea dos veces mayor comparado con las empresas grandes. Un resultado final que hay que resaltar es que la mediana empresa presenta mejor eficiencia en ambos procesos.

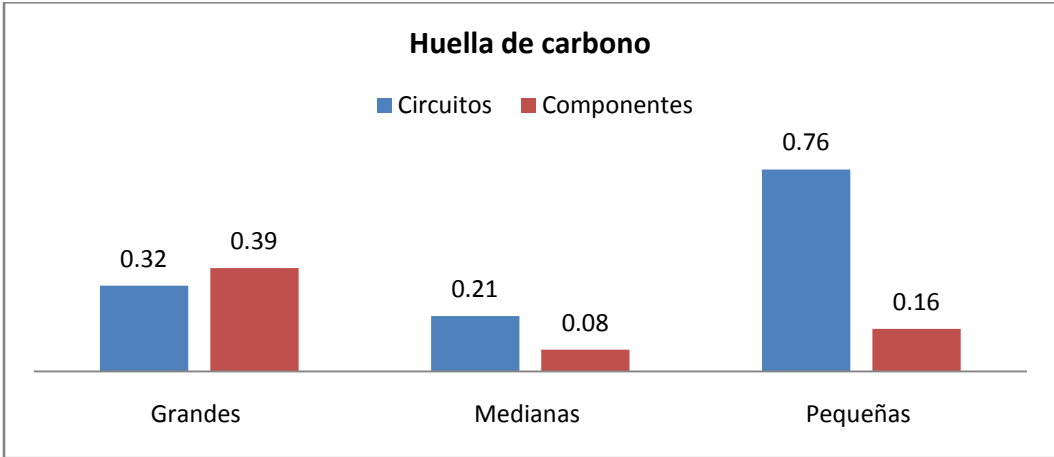
El gráfico 2.3 evidencia que con programas de uso eficiente de energía eléctrica, la contribución al cambio climático se reduciría, ahora bien de cambiarse el tipo de combustible para generar energía eléctrica a fuentes distintas de los hidrocarburos, digamos energía solar; la contribución al cambio climático se abatiría substancialmente. Esta opción debe considerarse minuciosamente ya que la instalación de una planta de generación eléctrica en base a energía solar *in situ* es una acción dentro del ámbito de toma de decisiones de las empresas. Además la inversión de implementar una planta también tiene un beneficio económico -después de amortiguar la inversión inicial-, ya que la empresa se ahorraría el pago a CFE por consumo de energía eléctrica.

Ecotoxicidad

Algunos de los principales contaminantes considerados en esta categoría son los encontrados en los residuos peligrosos y el scrap generados en la soldadura. Cabe mencionar que aún cuando algunas plantas utilicen soldadura libre de plomo, los residuos son considerados peligrosos debido a que los residuos de soldadura contienen también otros

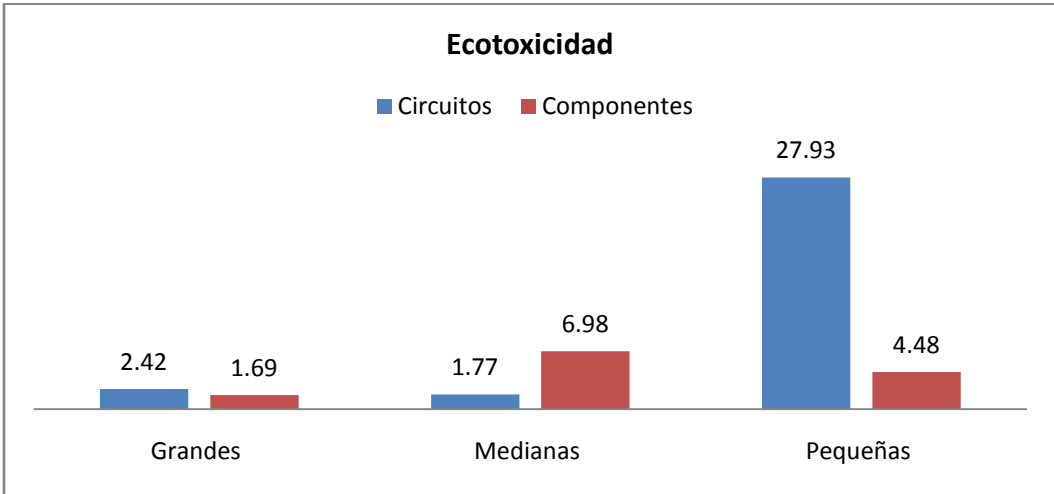
metales listados en esta categoría tales como níquel (Ni), cobre (Cu) y plata (Ag) así como solventes, barnices, fluxes y por lo tanto contribuyen a esta categoría. Ver Gráfico 2.4.

Gráfico 2.3 Huella de carbono comparado por tamaño de empresa y proceso



Fuente: Elaboración propia con base en Guinée *et al* (2001).

Gráfico 2.4 Ecotoxicidad por tamaño de empresa y proceso.



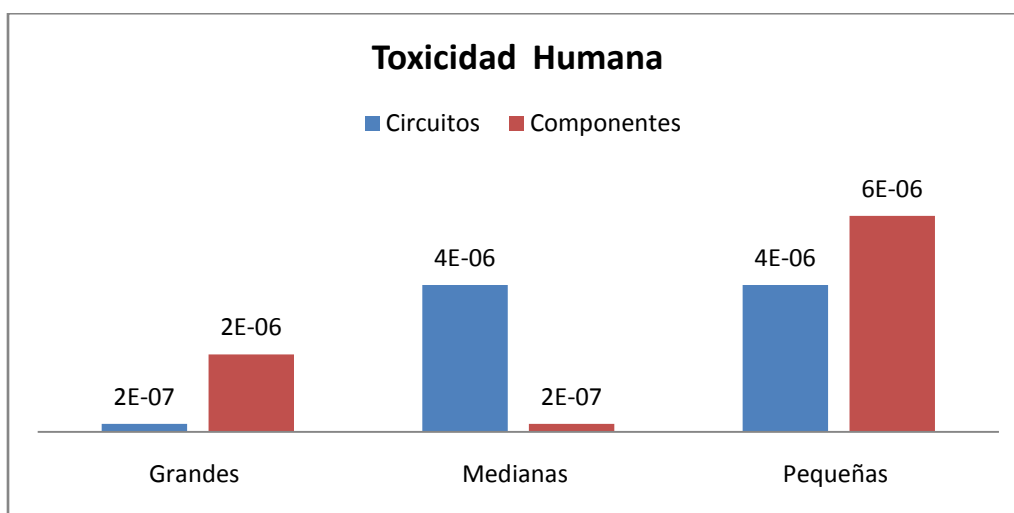
Fuente: Elaboración propia con base en Guinée *et al* (2001).

Para el caso de la ecotoxicidad las empresas pequeñas son las de mayor impacto en esa categoría debido a la generación de residuos peligrosos que a su vez es resultado del retraso tecnológico encontrado en la pequeña empresa, además en ésta aún se utiliza soldadura con plomo.

Toxicidad humana

La categoría de toxicidad humana también está en función del tipo de contaminantes emitidos en medios como agua, aire y suelo; pero considerando que tienen la probabilidad de causar un efecto final sobre la salud pública. En este caso los contaminantes detectados son el plomo en las empresas en donde aún utilizan soldadura con este metal, o el estaño en las empresas donde se usa soldadura libre de plomo. Ver gráfico 2.5.

Gráfico 2.5 Toxicidad humana de acuerdo a proceso y tamaño de empresa



Fuente: Elaboración propia con base en Guinée *et al* (2001).

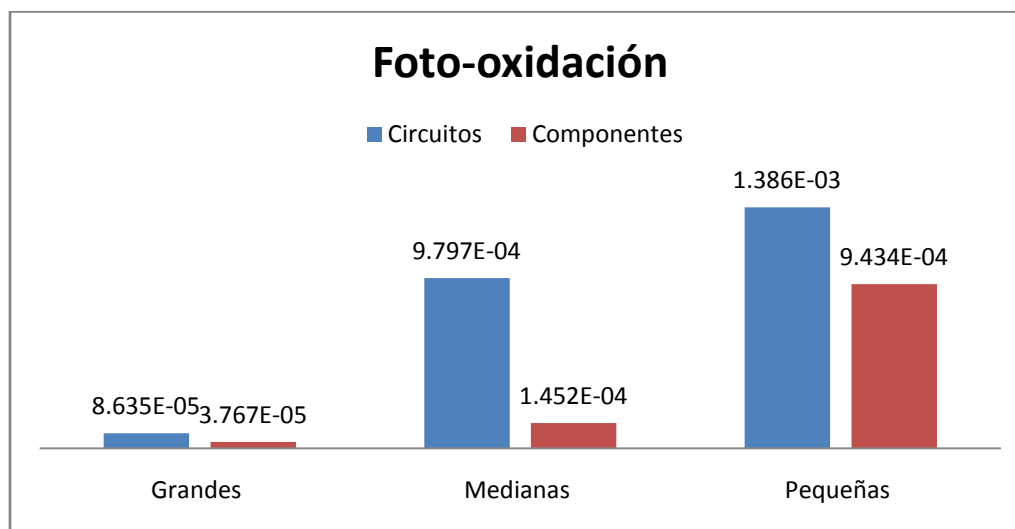
Para el caso de la toxicidad, la pequeña empresa en los dos procesos sigue estando por encima tanto de la mediana como de la grande empresa. Lo cual muestra que los procesos que se realizan en ella requieren de mejoras de manera inmediata.

Foto-oxidación

Como se había comentado la fuente que contribuye a esta categoría es el uso de solventes. En todos los procesos de ensamble de electrónicos uno de los más utilizados es el alcohol isopropílico, particularmente durante la soldadura y en la limpieza de los circuitos y componentes.

De acuerdo al gráfico 2.6 la foto-oxidación tiene mayor aporte en el proceso de ensamble de circuitos, y se observa la misma tendencia en cuanto a las pequeñas empresas en donde se encuentra el mayor aporte.

Gráfico 2.6 Foto-oxidación de acuerdo al proceso y tamaño de empleo.



Fuente: Elaboración propia con base en Guinée *et al* (2001).

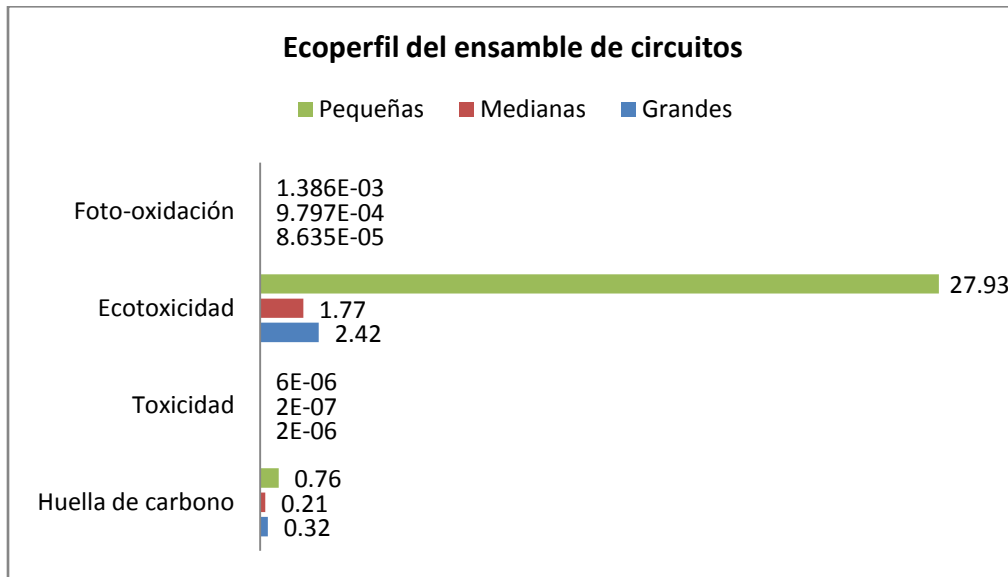
El proceso de ensamble de transformadores se evaluó por separado debido a que los niveles de contribución en todas las categorías son mayores comparado con los procesos de ensamble de circuitos y componentes electrónicos.

Ecoperfil

El ecoperfil es un resumen que representa el conjunto de impactos ambientales potenciales relacionados con algún proceso.

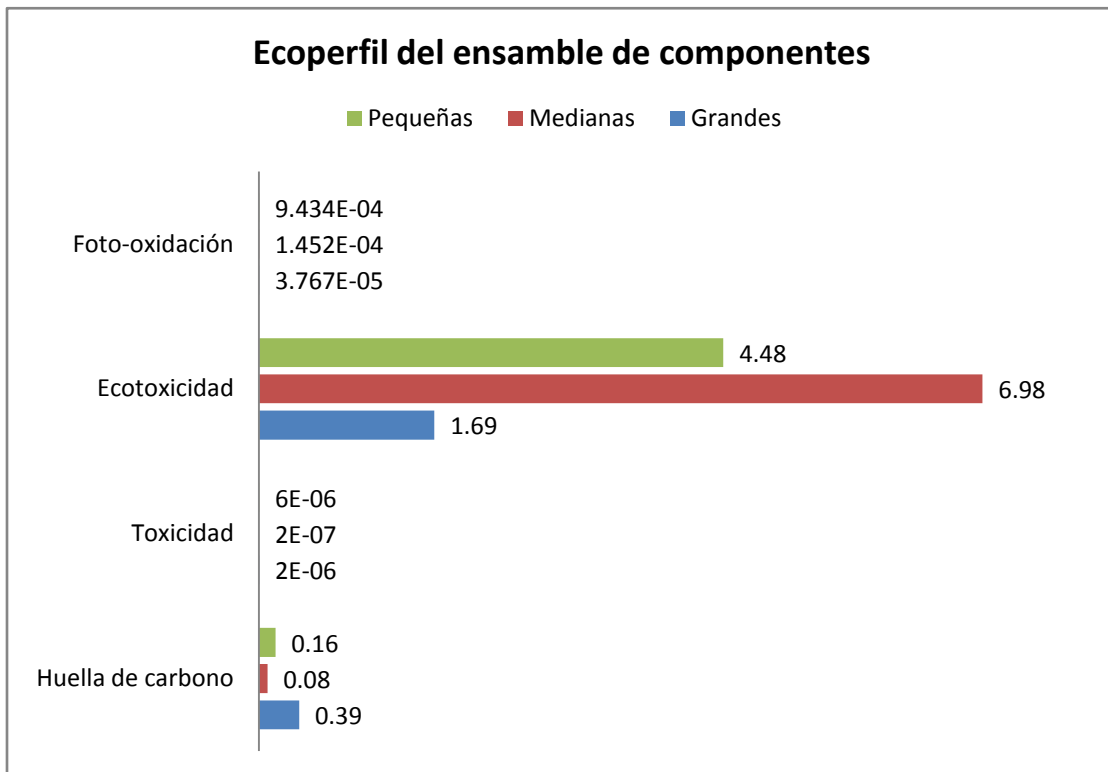
En este caso se muestran los resultados del ecoperfil correspondiente al ensamble de circuitos electrónicos (Gráfico 2.7), en él se puede apreciar que el mayor impacto corresponde a la categoría de ecotoxicidad, la cual está relacionada directamente con los residuos peligrosos generados durante el proceso y particularmente en la pequeña industria, sin descartar el resto de las categorías que aun cuando el nivel es menor se encuentra presente y debe atenderse.

Gráfico 2.7 Ecoperfil del ensamble de circuitos electrónicos.



Fuente: Elaboración propia con base en Guinée e inventario de Insumo y Desechos.

Gráfico 2.8 Ecoperfil del ensamble de componentes electrónicos.

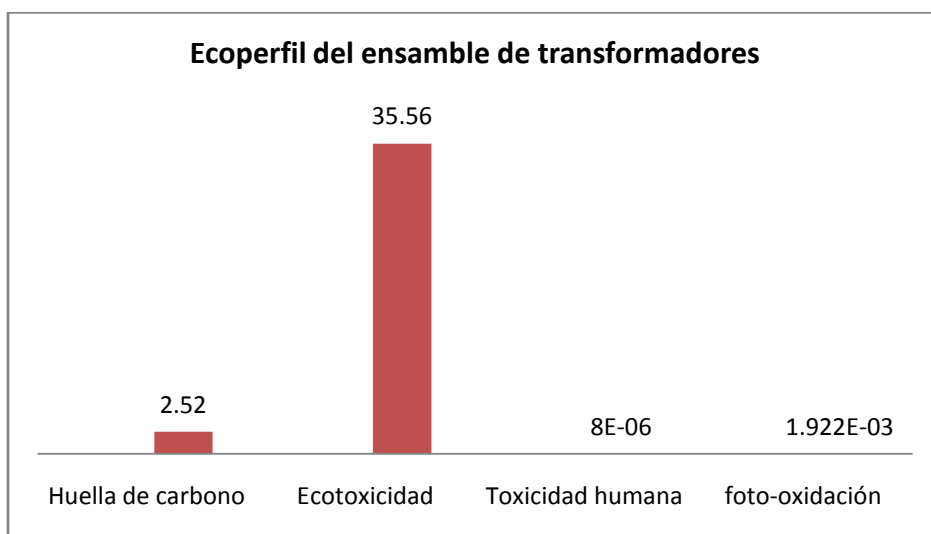


Fuente: Elaboración propia con base en Guinée e inventario de Insumo y Desechos.

El ecoperfil del proceso de ensamble de componentes se muestra en el gráfico 2.8, donde se observa que el mayor impacto ambiental se da por contribución tanto en la ecotoxicidad como en huella de carbono, en particular para el caso de las Pymes. La generación de residuos peligrosos es uno de los principales factores que afectan a la ecotoxicidad por el uso de soldaduras, solventes, y residuos generados durante el mantenimiento de la maquinaria. La huella de carbono está directamente relacionada con el uso de la energía eléctrica y la baja eficiencia en el uso durante el proceso productivo.

El gráfico 2.9 muestra como caso atípico el comportamiento del ensamble de transformadores; la categoría de ecotoxicidad registra el mayor nivel de aportación.

Gráfico 2.9 Ecoperfil del proceso de ensamble de transformadores



Fuente: Elaboración propia con base en Guinée *et al* (2001)

Finalmente, derivado del análisis por categorías la pequeña empresa es la que requiere mayor atención en cuanto a mejoras en sus procesos para reducir el impacto que tiene en todas las categoría seleccionadas.

CAPÍTULO III ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

En este capítulo se detalla el análisis realizado a los datos recopilados en el inventario de insumos y desechos y que se resumió en las secciones 2.2, 2.3 y 2.4 del capítulo anterior. Los puntos críticos de impacto ambiental identificados en el Capítulo II, son los que virtualmente se usaron para el diseño del modelo de producción limpia que se propone en esta investigación.

3.1 Análisis descriptivos y exploratorios

En esta sección se describe el análisis preliminar realizado a cada variable ambiental relevante. Las variables son:

- Consumo de energía eléctrica
- Volumen de residuos peligrosos generados
- Cantidad de empaque utilizado
- Concentración de compuestos orgánicos volátiles.

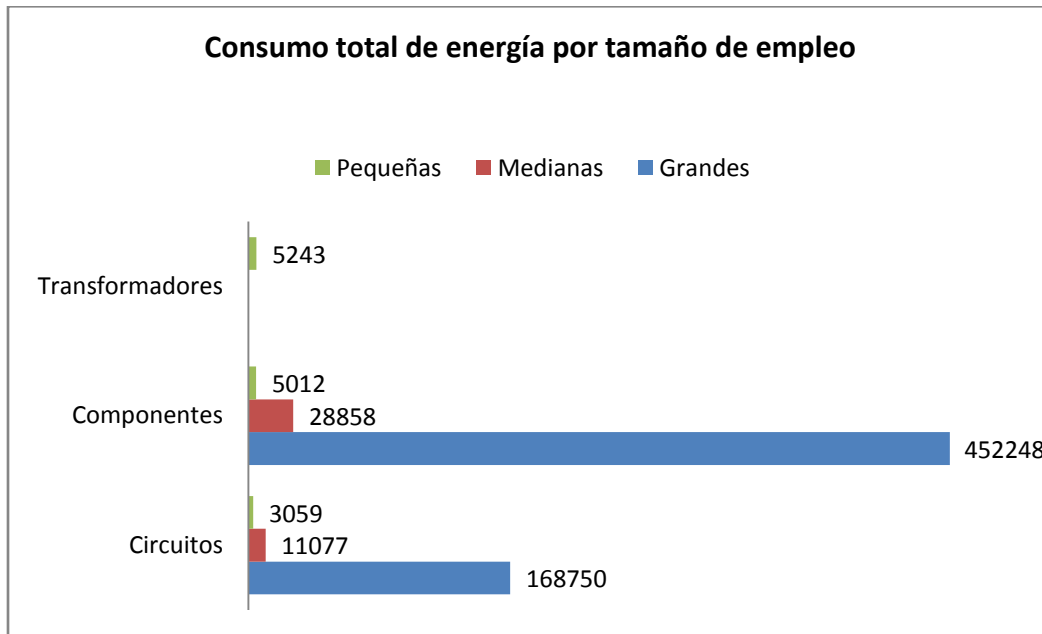
Estas variables ambientales se detallan en las siguientes subsecciones.

3.1.1 Consumo de energía eléctrica

La energía eléctrica que demandan las empresas dedicadas al ensamble de electrónicos generalmente es provista por líneas de alta tensión de CFE, lo que hace que el servicio para el sector industrial sea más caro.

El análisis de esta variable partió de la hipótesis inicial que la cantidad de energía eléctrica consumida se incrementa conforme aumenta el tamaño de empresa. El Gráfico 3.1 corrobora esta hipótesis. Sin embargo como LCA se realiza a nivel del proceso es preciso analizar el comportamiento del consumo de la energía tanto por fase de cada proceso como por el tipo de proceso que se está realizando, como se muestra en el Gráfico 3.2.

Gráfico 3.1 Consumo total de energía (kWh) por tamaño de empleo y proceso



Fuente: Elaboración propia

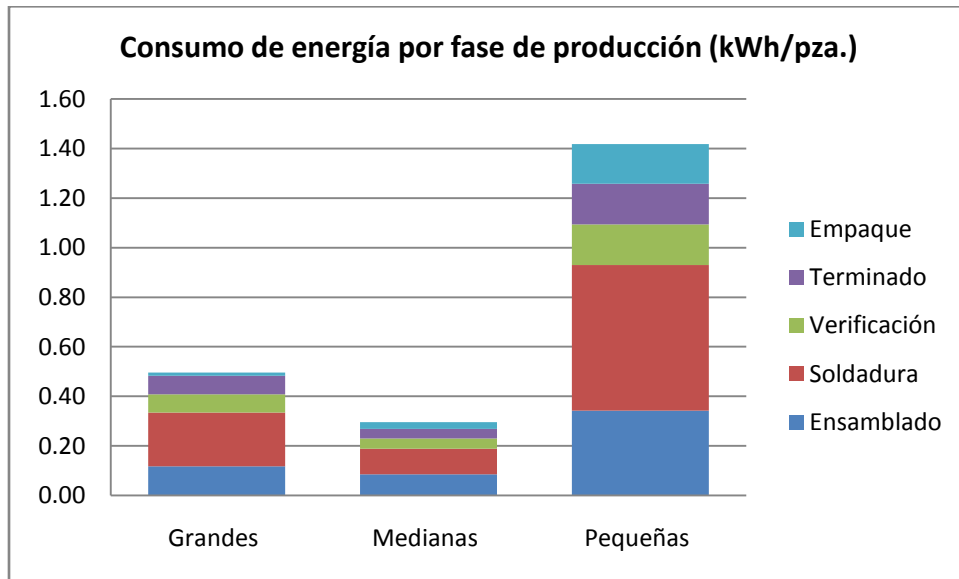
Por lo que se prosiguió a llevar a cabo el análisis del consumo de energía eléctrica en cada fase de producción detectando que el proceso de soldadura es el que consume la mayor cantidad (ver Gráfico 3.2). Debido a que el proceso se lleva a cabo en hornos eléctricos los cuales deben mantener una temperatura entre 250-270 ° C.

Por otro lado, para términos de la evaluación de cada fase, considerar el consumo total de energía no representaba lo que ocurre en el interior del proceso por lo que se relacionaron las variables consumo de energía eléctrica y la producción en unidad (Gráfico 3.3).

Finalmente se puede concluir de este análisis preliminar que:

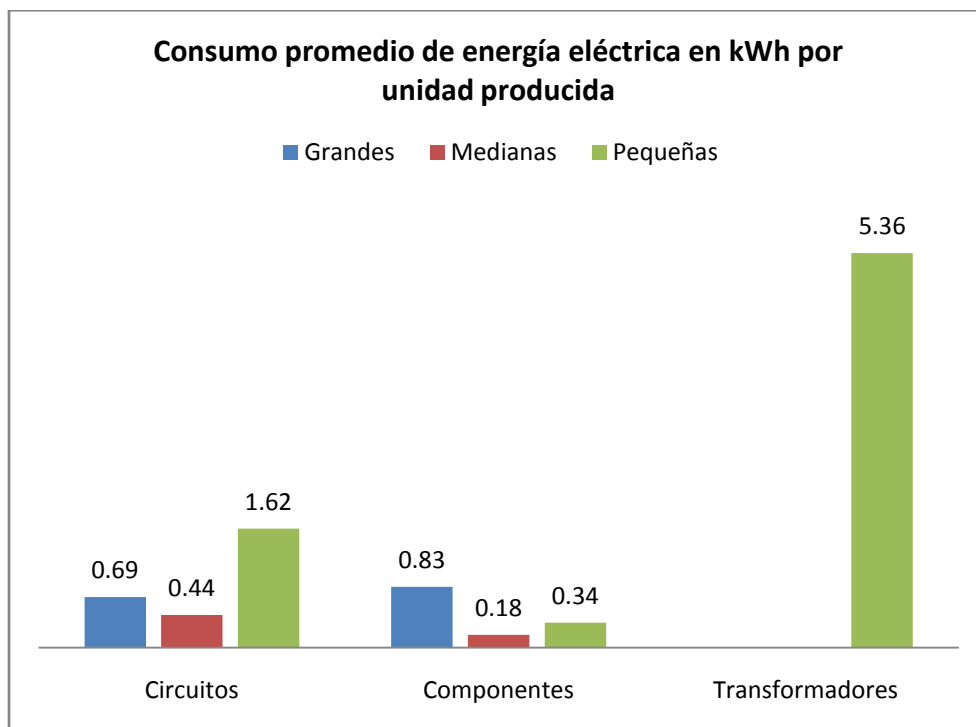
- 1) El consumo de energía en las pequeñas empresas es 2 o 3 veces superior comparado con las grandes empresas en el proceso de ensamble de circuitos.
- 2) El proceso de soldadura es el de mayor consumo de energía seguido del ensamblado.
- 3) En el caso particular, el ensamble de transformadores es el proceso que presenta un consumo de energía eléctrica cuatro veces mayor comparada con el consumo de las pequeñas industria en el proceso de ensamble de circuitos.

Gráfico 3.2 Consumo de energía en cada fase de proceso (kWh/pza.)



Fuente: Elaboración propia

Gráfico 3.3 Consumo de energía eléctrica por proceso y tamaño de empleo



Fuente: Elaboración propia

El cuadro 3.1 resume los intervalos de consumo clasificado por tamaño de empresa. Estos intervalos son para los tres procesos planteados. La pequeña industria tiene mayor variabilidad en cuanto al consumo de energía, la cual depende en gran medida del proceso que se lleve a cabo. En las grandes empresas existe control en el consumo de energía. El nivel de consumo de electricidad de la mediana empresa presenta mejor eficiencia en comparación con los otros estratos.

Cuadro 3.1 Intervalos de consumo de acuerdo al tamaño de empresa

Empresas	Intervalo de consumo por unidad producida (kWh)
Pequeña	0.34 – 5.36
Mediana	0.18 - 0.44
Grande	0.69 - 0.83

Fuente: Elaboración propia

3.1.2 Residuos peligrosos.

Escoria de soldadura

De acuerdo a las normas nacionales en materia de residuos, la escoria de soldadura es considerada como un residuo peligroso debido a que aún se utilizan soldaduras con base de plomo, siendo éste uno de los metales pesados de mayor toxicidad. De igual manera la escoria lleva consigo residuos de solventes y barnices utilizados durante proceso por lo que se considera como residuo peligroso aún cuando la composición de la soldadura sea libre de plomo.

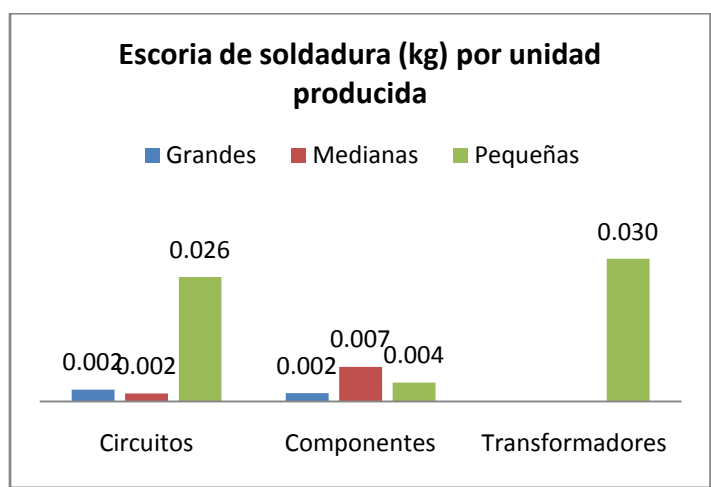
El gráfico 3.4 muestra la soldadura generada por pieza producida, clasificada por tamaño de empresa y por los procesos que se llevan a cabo. Es importante decir que este residuo es generado específicamente en el proceso de soldadura.

De los datos que refleja este gráfico se puede concluir que las pequeñas empresas tienden a impactar en mayor nivel al ambiente con la generación de residuos peligrosos como lo es la escoria de soldadura.

Algunas de las razones son: el proceso que manejan, la tecnología utilizada, la eficiencia de sus procesos, la ausencia de programas de manejo de residuos y la falta de prácticas de recuperación de residuos o reciclaje.

Se observa que en las medianas empresas existe un mayor control en la generación de residuos comparada con las pequeñas, sin embargo es conveniente que los programas de manejo de residuos se extiendan entre todo el estrato.

Gráfico 3.4 Escoria de soldadura generada (kg) por pieza producida y por tipo de proceso



Fuente: Elaboración propia

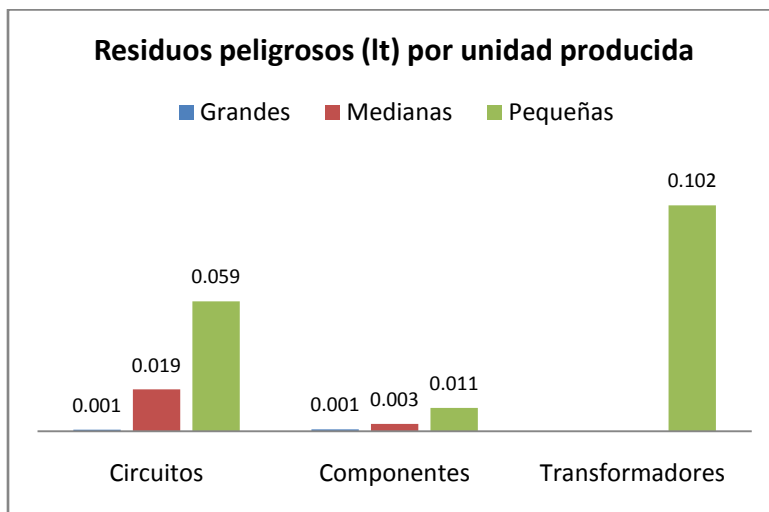
Residuos peligrosos líquidos (solventes y aceites) y sólidos (sólidos impregnados con aceite, solventes, asbesto).

Otros residuos peligrosos generados durante el proceso productivo del ensamble de electrónicos son los residuos de solventes, aceites gastados, sólidos impregnados con solventes o aceites. Para este caso se realizó una comparación entre los residuos generados y las unidades producidas generando los gráficos que a continuación se presentan (3.5 y 3.6).

En ambos casos, se aprecia que la pequeña industria es la que genera mayor cantidad de residuos sobre todo en el proceso de ensamble de transformadores, en gran medida debido a las prácticas que se llevan a cabo en el proceso además de la maquinaria y

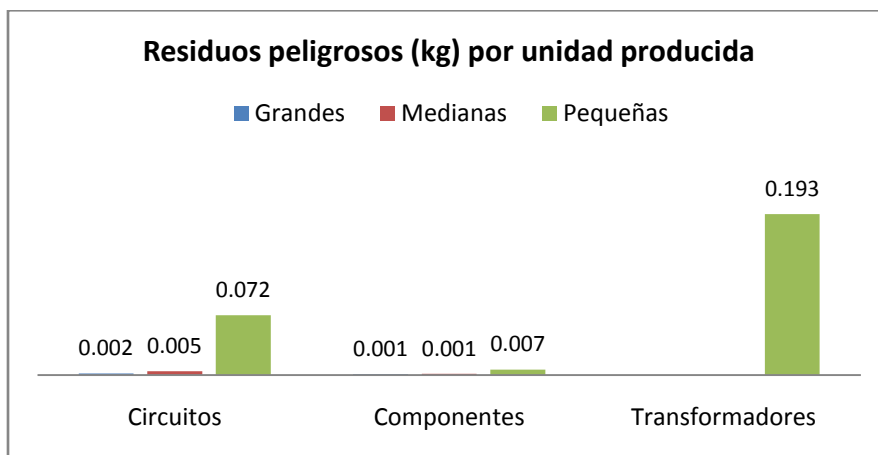
equipo con las que cuentan. Por lo que es necesaria la aplicación de prácticas enfocadas al personal que lleva a cabo el mantenimiento y limpieza de los equipos.

Gráfico 3.5 Generación de residuos líquidos peligrosos por unidad producida



Fuente: Elaboración propia

Gráfico 3.6 Generación de residuos peligrosos por unidad producida (kg)



Fuente: Elaboración propia

3.1.3 Compuestos orgánicos volátiles

Para esta variable se planteó la hipótesis que la pequeña y mediana industria contribuyen en mayor medida con la emisión de compuestos orgánicos volátiles debido a que su control es prácticamente nulo e incluso en la mayoría de los casos no existen registros de la medición y control de dichas emisiones.

De acuerdo a la revisión de los procesos y durante las visitas realizadas, se identificó que el punto de mayor emisión de compuestos orgánicos volátiles es durante la fase de soldadura, ya que se utilizan sustancias como barnices y flux que desprenden estos componentes. Seguido de la fase de ensamblado en donde hay emisión de estos compuestos debido al uso de solventes para la limpieza de los componentes electrónicos.

Los compuestos orgánicos volátiles se emiten a la atmósfera, aún con la presencia de sistemas sofisticados de conducción y control. La concentración de emisión depende en gran medida del control que cada empresa tenga en sus puntos de generación. En general para este estudio se observó que la aportación de las emisiones de las grandes empresas es menor.

De acuerdo al análisis de datos que proporcionaron las empresas participantes (Gráfico 3.7), las Pymes son las que emiten mayor cantidad de compuestos orgánicos volátiles, mismos que son sustancias precursoras de formación de ozono y a su vez de gases efecto invernadero.

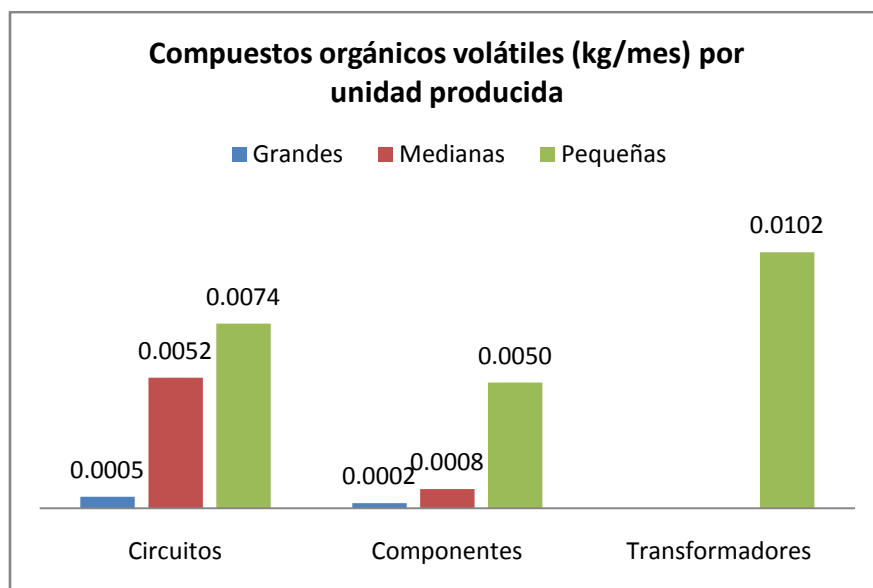
En el gráfico se puede distinguir que la generación de compuestos orgánicos volátiles en las pequeñas empresas sobrepasa por mucho a las empresas grandes. Es importante señalar que las grandes empresas cuentan con control de emisiones en sus puntos de generación (ductos y al final de ellos filtros para minimizar las emisiones). En tanto las medianas y sobre todo las pequeñas no cuentan con ello.

3.1.4 Empaque

En la muestra seleccionada, hay empresas que se dedican al ensamble de componentes y también se encuentran algunas que manufacturan todo su producto, por ejemplo las

balastras y los controles remoto. Este hecho influencia el tipo y cantidad de empaque utilizado.

Gráfico 3.7 Compuestos orgánicos volátiles generados por unidad producida clasificados por tamaño de empresa y proceso

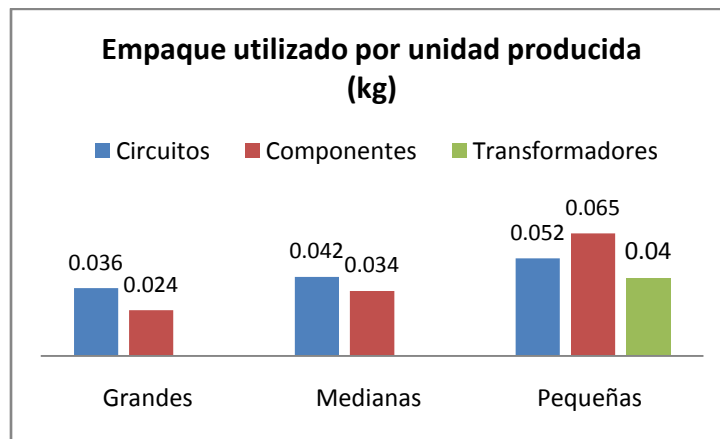


Fuente: Elaboración propia.

En cuanto al empaque también se ve reflejada la tendencia de requerir mayor cantidad de empaque a nivel de Pymes, aun cuando en algunos casos de empresas grandes se manufacture el producto completo.

El gráfico 3.8 muestra que el proceso que demanda mas empaque es el ensamble de circuitos electrónicos, ya que estas partes son sumamente delicadas y requieren mayor protección. Se observa igualmente un incremento del uso de empaque por especificaciones establecidas por el cliente en cuestión. Generalmente los circuitos deben ir en bolsas antiestáticas y posteriormente son colocados en cajas de cartón o de plástico de acuerdo a cada caso. Una práctica común en las Pymes es el reuso de los empaques porque su proceso se los permite. En algunas empresas grandes los empaques son enviados directamente por el cliente, sin posibilidad de reuso.

Grafico 3.8 Empaque por unidad producida (kg./pza.) de acuerdo al tipo de proceso y al tamaño de empleo.



Fuente: Elaboración propia

Finalmente, cada una de las variables ambientales propuestas aquí son representativas, ya que fueron derivadas de la revisión de los procesos industriales de la maquila; por este hecho son sujetos idóneos donde se pueden aplicar recomendaciones viables para mejorar el desempeño ambiental de las empresas, en especial las Pymes. Estas recomendaciones pueden transformarse en acciones a nivel de incorporación de prácticas ecoeficientes o de mejoras en procesos productivos, en algunos casos involucran cambios tecnológicos. Estas alternativas se desarrollan de manera puntual en el capítulo V.

CAPÍTULO IV DISEÑO DEL MODELO DE PRODUCCIÓN LIMPIA

En este capítulo se detalla la construcción matemática del modelo de producción limpia propuesto en esta investigación (Programa ECOPLAMEX).

El modelo de producción limpia está construido de una variable dependiente a la que se le denomina Desempeño Ambiental (DA) y de siete variables independientes: Consumo de Energía Eléctrica (CE), Residuos Sólidos Peligrosos (RS), Escoria de soldadura (E), Scrap (S), Empaque (EQ), Residuos Líquidos Peligrosos (RL) y Compuestos Orgánicos Volátiles (COV) (Figura 4.1).

Cada variable independiente se planteó en función de la producción, a fin de resaltar la íntima relación que existe entre producción y medio ambiente, es decir el impacto ambiental por unidad producida; relación que no es comprendida y usualmente es minimizada o rechazada por el sector productivo.

Al establecer esta relación entre los impactos o influencia ambiental y la producción, se define cada variable como indicador de ecoeficiencia de aplicación general como lo propone Leal (2005), en donde el indicador es construido a partir de la siguiente ecuación:

Valor del producto o servicio

Ecuación 4.1

Influencia ambiental

Refiriéndose al valor del producto o servicio como:

- Cantidad de bienes o servicios producidos o entregados
- Ventas netas

Y los valores de la influencia ambiental pueden establecerse en función de:

- Consumo de recursos como agua o energía
- Consumo de materiales
- Emisiones atmosféricas (gases efecto invernadero y compuestos orgánicos volátiles entre otros).
- Generación de residuos peligrosos o no peligrosos

Estos indicadores pueden equipararse a la productividad, que desde la perspectiva de la manufactura se define como la relación entre la producción y los insumos utilizados, de este modo también se plantea que la productividad es inversamente proporcional al consumo de recursos y a la generación de desechos como se muestra en el Anexo 1.

Un punto importante es que los indicadores propuestos deben ser relevantes a los procesos o servicios analizados de tal manera que permitan hacer comparaciones entre sí. En esta investigación a partir del análisis de ciclo de vida (LCA) se detectaron las variables ambientales más importantes para el proceso de ensamble de electrónicos, lo que permitió establecer indicadores para la construcción del DA de las industrias consideradas.

Cabe mencionar que los indicadores tanto de ecoeficiencia como de DA se pueden establecer en función de otras características cualitativas como la adopción de sistemas de gestión ambiental, obtención de premios y reconocimientos ambientales, capacitación y entrenamiento, evaluando si destinan gasto al rubro ambiental o si cuentan con un departamento en la organización dedicado a asuntos ambientales como lo proponen Carrillo *et al* (2005).

En esta propuesta de investigación, la influencia ambiental está determinada por la cuantificación de cada una de las variables ambientales relacionadas con la producción.

Una vez definidas las variables o en este caso indicadores de ecoeficiencia se llevó a cabo la construcción del modelo de producción limpia. Se parte de la siguiente relación lineal entre la variable dependiente y las variables independientes involucradas de acuerdo a la ecuación 4.1.

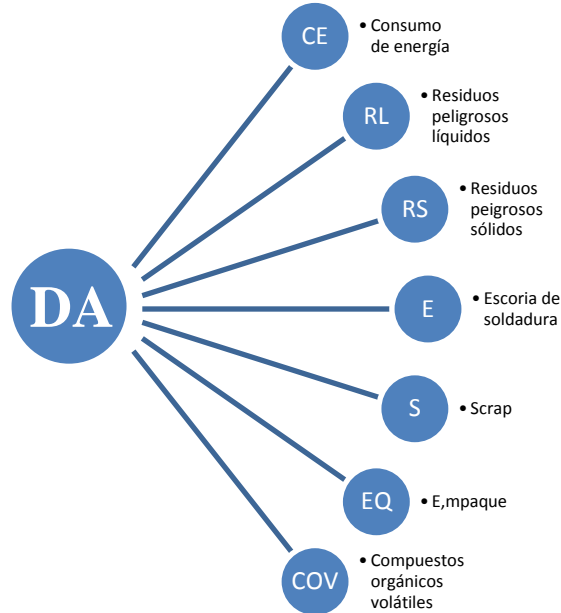
$$f(x) = x_1 + x_2 + \dots + x_n \quad \text{Ecuación 4.1}$$

Para el caso del ECOPLAMEX, la función es el desempeño ambiental (Ecuación 4.1) y sustituyendo las variables dependientes expresadas con anterioridad se llega a la ecuación 4.2. Continuando con la sustitución de las siete variables ambientales independientes se obtiene la ecuación 4.3.

$$f(x) = DA \quad \text{Ecuación 4.2}$$

$$DA = CE + RS + E + S + EQ + RL + COV \quad \text{Ecuación 4.3}$$

Figura 4.1. Construcción teórica del modelo de producción limpia.



Fuente: Elaboración propia

Así, el desempeño ambiental está en función de la relación que guardan las variables ambientales. Estas variables ambientales, como se ha mencionado con anterioridad, fueron colectadas mediante el Inventario de Insumos y Desechos.

A cada variable ambiental se le realizaron pruebas de normalidad primeramente mediante métodos descriptivos para determinar la bondad de ajuste a una distribución normal, tales como los gráficos de probabilidad. Después se aplicaron métodos objetivos para corroborar los resultados anteriores, usando la prueba de normalidad de Ryan-Joiner y verificando a través de gráficos de intervalos de confianza para validar el resultado, estas pruebas se realizaron en el programa MINITAB. En ambos casos se detectó que las variables ambientales no guardan un comportamiento normal, excepto la variable de empaque (Anexo 3).

Por lo tanto, el desempeño ambiental se modificó en función de las variables ambientales normalizadas de acuerdo a la ecuación 4.4

$$DA = CE^* + RS^* + E^* + S^* + EQ + RL^* + COV^*$$

Para transformar las variables ambientales apropiadas, se prosiguió a utilizar el método Box-Cox⁷ que permite normalizar variables eligiendo la transformación de potencia más adecuada.

La transformación se da en función del valor de lambda. Por ejemplo, para un valor de lambda $\lambda=0$, la ecuación utilizada para normalizar una población de datos es el logaritmo natural de los datos originales. O bien, para un valor de $\lambda=5$ se utiliza la raíz cuadrada.

En el presente caso, cada variable se homologó con la función de normalización y finalmente el resultado quedó expresado en las ecuaciones 4.5 a la 4.11.

$$CE^* = \ln(CE) \quad \text{Ecuación 4.5}$$

$$RS^* = (RS)^{-0.24} \quad \text{Ecuación 4.6}$$

$$E^* = \ln(E) \quad \text{Ecuación 4.7}$$

$$S^* = \ln(S) \quad \text{Ecuación 4.8}$$

$$EQ = EQ^8 \quad \text{Ecuación 4.9}$$

$$RL^* = \ln(RL) \quad \text{Ecuación 4.10}$$

$$COV^* = (COV)^{0.2} \quad \text{Ecuación 4.11}$$

Asumiendo que el desempeño ambiental es el resultado de la adición de las variables ambientales fundamentales, se construyó la ecuación sustituyendo las ecuaciones anteriores en la ecuación 4.4. Obteniéndose la función final que representa el desempeño ambiental (Ecuación 4.12).

$$DA = \ln(CE) + (RS)^{-0.24} + \ln(E) + \ln(S) + EQ + \ln(RL) + (COV)^{0.21} \quad \text{Ecuación 4.12}$$

⁷ La transformación Box-Cox en esta investigación se realizó usando el programa estadístico MINITAB 14.

⁸ La variable EQ (empaque) no requirió normalización ya que en las pruebas estadísticas realizadas obtuvo un P-value > 0.1, por lo que en la función que representa al desempeño ambiental se expresa de la misma forma.

Derivado de la ecuación propuesta para el desempeño ambiental se observa que:

- Al disminuir en conjunto los consumos de energía, la emisión de compuestos orgánicos volátiles, la generación de residuos peligrosos (líquidos, sólidos y escoria) así como el scrap y el empaque, el desempeño ambiental incrementa.

Para establecer categorías de desempeño ambiental se evaluó el intervalo en el que se distribuyen las variables ambientales propuestas, partiendo del planteamiento que entre menor sea la variable x_n , el valor del DA se incrementará.

Se proponen cuatro categorías de acuerdo a las empresas mejores ponderadas al analizar el DA de acuerdo al modelo propuesto en el cuadro 4.1.

Considerando que el DA se encuentra en función de siete variables ambientales y substituyendo los menores valores numéricos de dichas variables, se obtiene un el valor máximo de DA de 28 puntos.

Cuadro 4.1 Categorías de DA

Categoría	Ponderación
Óptimo	4
Bueno	3
Regular	2
Deficiente	1

Fuente: Elaboración propia

Generalmente las empresas cuentan con registro de valores de las variables ambientales propuestas así como los datos de producción. Por lo que es probable usando la información existente, establecer la relación entre ambas y estimar fácilmente el valor de DA, es más este puede compararse con el rango que se encuentra registrado, como se muestra en el Cuadro 4.2.

Así, la ecuación 4.12 fue aplicada en los datos obtenidos del Inventario de Insumos y Desechos, para posteriormente realizarse un análisis comparativo entre las Pymes y las grandes empresas clasificándolas por proceso.

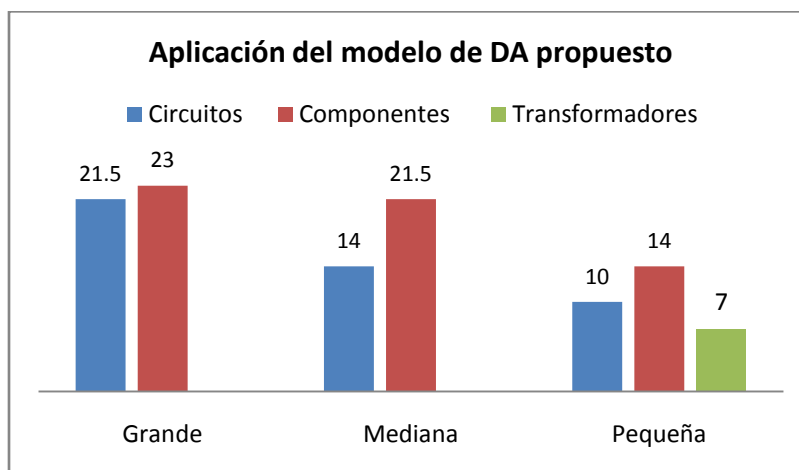
En el gráfico 4.1 se observa que el DA en el proceso de componentes es mayor comparándolo con el de ensamble de circuitos. El proceso de transformadores es el que refleja el menor DA.

Cuadro 4.2 Intervalos de variables ambientales para determinar el DA.

	Óptimo	Bueno	Regular	Deficiente
Consumo de energía (kWh/pza.)	0-0.25	0.26-0.4	0.41-1.1	1.2-6
Residuos sólidos peligrosos (kg/pza.)	0-0.0007	0.0008-0.0025	0.0026-0.008	0.008-0.2
Residuos líquidos peligrosos (lt/pza.)	0-0.0006	0.0007-0.004	0.005-0.018	0.019-0.2
Scrap (kg/pza.)	0-0.0011	0.0012-0.009	0.01-0.044	0.0445-0.25
Escoria de soldadura (Kg./pza.)	0-0.0006	0.0007-0.0025	0.0025-0.0026	0.022-0.06
Empaque (kg/pza.)	0-0.12	0.013-0.041	0.042-0.059	0.06-0.1
Compuestos orgánicos volátiles (kg/pza.)	0-0.00027	0.00028-0.000543	0.000544-0.0066	0.0067-0.011

Fuente: Elaboración propia

Gráfico 4.1 Comparación del DA de acuerdo al proceso y tamaño de empresa

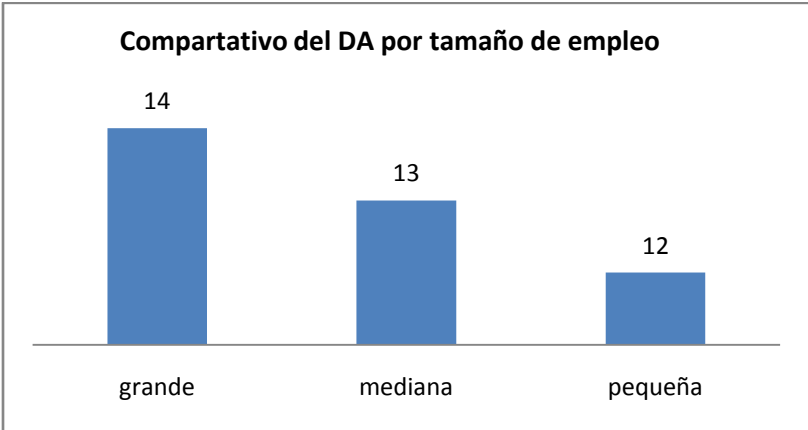


Fuente: Elaboración propia

El siguiente gráfico (4.2) muestra el DA promedio por tamaño de empleo en donde se aprecia que las Pymes presentan un menor desempeño ambiental comparada con las empresas grandes, debido a las ventajas financieras, competitivas y técnicas de éstas últimas que les permiten tomar acciones enfocadas al DA.

Además, las Pymes presentan un DA menor porque existen puntos críticos en sus procesos que requieren atención, por lo que necesario presentar alternativas que les apoye en el incremento de dicho desempeño.

Gráfico 4.2 Desempeño ambiental de acuerdo al tamaño de empleo



Fuente: Elaboración propia con base en el modelo de producción limpia

En resumen, el modelo de producción limpia desarrollado en este capítulo es una alternativa práctica que permite en primera instancia evaluar la situación actual de la empresa, en segundo lugar su aplicación permite comparar empresas dedicadas a procesos similares y observar que el desempeño ambiental puede mejorarse a través de acciones ecoeficientes y tecnologías limpias que han sido puestas en práctica en empresas similares. Estas acciones se analizarán puntualmente en el Capítulo V.

CAPÍTULO V RECOMENDACIONES FINALES

En esta sección se muestra una lista de recomendaciones derivadas de los análisis realizados en el capítulo III y del planteamiento del modelo de producción limpia del capítulo IV. Estas recomendaciones son de mejora en aspectos ambientales de mayor impacto –de acuerdo a las directrices de ecoeficiencia y producción limpia- en la industria de la maquila de ensamble de electrónicos; es pertinente agregar que cada recomendación va acompañada de alternativas para mejorar el desempeño ambiental.

Las recomendaciones que se presentan están particularmente dirigidas hacia las Pymes, ya que las grandes empresas cuentan con sistemas de control y de gestión ambientales que les confieren mayores ventajas para llevar a cabo acciones ambientalmente responsables.

Aun cuando hay un sinnúmero de partes y componentes en la industria del ensamble de electrónicos, el proceso general es similar en tanto en las empresas grandes como en las Pymes, lo que permite igualmente aplicar acciones similares.

Las recomendaciones aquí presentadas van más allá de un simple listado, éstas se sometieron a un análisis de factibilidad para evaluar cuáles son más viables de implementación considerando aspectos institucionales, regulatorios, financieros, técnicos y sociales que permita visualizar en un panorama integral los recursos necesarios para llevar a cabo una acción determinada.

El cuadro 5.1 muestra una síntesis de los puntos identificados como de mayor impacto ambiental por fase del proceso los cuales son susceptibles de mejora. Así este primer cuadro es un claro indicador de la necesidad de la aplicación de una acción ecoeficiente o inserción de tecnología limpia.

5.1 Consumo de electricidad

Tanto en el proceso de ensamble de circuitos como en el ensamble de componentes el consumo de electricidad es relevante. Por lo que desde la perspectiva ambiental se requiere tomar acciones que minimicen la aportación a la generación de emisiones GEI y por ende la huella de carbono de la industria.

Cuadro 5.1. Resumen de impactos ambientales por fase del ensamble de electrónicos

Ensamblado	Soldadura	Verificación	Acabado	Empaque
<ul style="list-style-type: none">•Consumo de electricidad•Generación de residuos	<ul style="list-style-type: none">•Consumo de electricidad•Generación de residuos peligrosos•Generación de emisiones atmosféricas	<ul style="list-style-type: none">•Generación de scrap	<ul style="list-style-type: none">•Generación de residuos peligrosos•Generación de scrap	<ul style="list-style-type: none">•Generación de residuos sólidos

Fuente: Elaboración propia

Una de las recomendaciones que se pueden realizar en este aspecto es primero que se elaboren e implementen programas de ahorro de energía. Esta investigación evaluó los niveles de consumo que tienen tanto las empresas grandes como las Pymes, así no solo es posible hacer comparaciones sino delinear una tendencia a la mejora.

En este sentido, las empresas grandes presentan una mejor eficiencia en el consumo de electricidad; de acuerdo a lo observado en las visitas realizadas a las plantas se identificaron dos factores relevantes para esta eficiencia energética: 1) la existencia de programas de ahorro de energía, y 2) la existencia de programas de verificación de la eficiencia de los equipos y maquinarias que se utilizan en los procesos.

Los requerimientos para poder implementar programas de eficiencia energética son de carácter técnico, es especial capacitación a todo miembro de la organización para que puedan tener una participación activa. Esta capacitación se debe enfocar en difundir el conocimiento y asegurar el entendimiento de lo que representa el ser más o menos eficiente en el consumo de electricidad, y de manera puntual debe considerar:

- Mantenimiento preventivo y correctivo de equipos (los cuales generalmente están programados).
- Verificación de la eficiencia de los equipos.
- Verificación de los requerimientos de los equipos para evitar pérdidas energéticas que requieran mayor consumo de electricidad.

- Evaluación de la posibilidad de cambio de maquinaria que trabaje con sistemas neumáticos (compresores) a aquellas que usen sistemas eléctricos.
- Implementación de generación de electricidad in situ –idealmente a base de energía renovable o una mezcla de energía renovable y proveniente de combustibles bajos en contenido de carbón-, lo cual requiere de inversión económica y de capacitación de personal.

Disminuir el consumo de energía en primera instancia reduce costos mensuales que se pueden visualizar en el recibo de luz. El consumo de energía registrado por la pequeña empresa en el proceso de ensamble de circuitos es de 1.62 KWh/unidad producida a diferencia del consumo promedio de la grande empresa que está en el orden de 0.69 KWh/unidad producida, es decir se tendría un ahorro de 0.97 KWh/unidad producida. Para una producción de 1000 unidades estaría representando 970 KWh ahorrados, haciendo cálculos con la tarifa base para consumo industrial de \$ 0.77 por KWh, sería alrededor de \$ 750 pesos, además de evitar la aportación a la huella de carbono en 135 por ciento de lo actualmente aportado. Una reducción en la aportación al cambio climático obviamente repercutiría positivamente en la imagen de la empresa y en la calidad de vida del trabajador.

5.2 Generación de residuos peligrosos

Uno de los impactos ambientales de mayor incidencia en la industria de la maquila es la generación de residuos peligrosos. Estos residuos son generados durante todo el proceso de ensamble de electrónicos. Por lo tanto es un punto prioritario para atender.

Las recomendaciones en este aspecto parten desde las acciones más sencillas y viables hasta las que requieren de inversión de equipo o cambios en la tecnología.

En primer lugar se recomienda establecer programas de manejo de residuos. Para llevar a cabo esto, primero es necesaria la participación de todo el personal, sobre todo aquellos que están directamente involucrados en el manejo. Después se debe establecer áreas estratégicas en donde puedan colocarse recipientes debidamente identificados para recolectar los residuos peligrosos que se generen durante el proceso. Ya que en las Pymes la generación total de residuos no sobrepasa los 1000 kg./mes entonces no se requieren de

depósitos grandes que impliquen riesgo en el interior del proceso, ni tampoco inversión en los depósitos e incluso se pueden readecuar las actuales áreas de disposición de residuos existentes a fin de separar los peligrosos de los no peligrosos.

Otra acción inmediata en la cual precisan requisitos tales como capacitación - y disposición del tiempo para tomarla- en las prácticas que llevan a cabo el personal de mantenimiento. Se debe evitar en lo posible la generación de residuos peligrosos, dando mantenimiento a los equipos en tiempo y forma, utilizando la menor cantidad de sólidos durante la limpieza. En el caso del equipo de protección, si se utiliza, adquirir aquellos que tengan mayor tiempo de vida, en su defecto se deben renovar constantemente, lo cual implica que las compras sean más frecuentes (aun cuando tengan menor costo) y también se incrementa la generación de residuos que deben disponerse.

Es necesario señalar que aun cuando la escoria de soldadura está considerada como residuo peligroso, si es separada correctamente se tiene posibilidad de venderla como material reciclable. Existen empresas dedicadas a comprar estos residuos y aún cuando la generación de escoria de soldadura no es mayor de 100 kg/mes se puede comercializar.

Otra alternativa para la escoria de soldadura es la recuperación, la cual si requiere de una inversión más fuerte (que puede recuperar en meses). Como se comentó en el capítulo I hay empresas que llevan a cabo esta práctica que les permite tener mayor eficiencia en el consumo de recursos, minimización en costo por compra de material (soldadura) y disminución de gastos por disposición de residuos peligrosos, todo acompañado de la disminución de la ecotoxicidad proveniente de estos residuos.

Se hace hincapié en el manejo de los residuos peligrosos ya que el plomo, el níquel y el estaño son los componentes principales de las soldaduras utilizadas. Las grandes y medianas empresas realizan monitoreos en las instalaciones para verificar que los niveles de plomo estén dentro de norma ambiental correspondiente.

Algunas empresas grandes cuentan con ductos y extractores para mitigar la emisión de partículas de plomo. A diferencia, en las pequeñas empresas donde no han hecho cambios tecnológicos al uso de la soldadura libre de plomo y en donde difícilmente se cuenta con equipos de mitigación, los niveles de aportación en la categoría de ecotoxicidad y toxicidad humana son altos, aun considerando que las emisiones en tales sitios pueden estar dentro del límite máximo permitido por la norma (NOM-004-SSA1-1993).

Uno de los cambios que requieren de una inversión a largo plazo, es el cambio al uso de soldaduras libres de plomo, aunque esto no implique reducir los residuos peligrosos ya que si la soldadura es base estaño, cobre, níquel también es considerada residuo peligroso. Sin embargo, el cambio a otro tipo de soldadura tendrá efectos en el ambiente laboral en el que se desenvuelve el trabajador y definitivamente hacia la población circundante de la empresa.

Si no se cuenta con programas de manejo ni tampoco se monitorea la calidad del aire en la empresa, es probable que la contaminación llegue al suelo, al aire y al agua. Saliendo de la planta, la emisión no solamente tiene incidencia sobre los trabajadores que ahí laboran sino también sobre la población cercana.

Estudios realizados en los ochenta demostraron que la exposición de niños a niveles de plomo de 10 $\mu\text{g}/\text{dL}$ tenía serios daños a la salud (Von Glascoe y Metzger, 1997), por lo cual se recomendó bajar a cero la exposición a este metal. Tomando en cuenta el mejor escenario en donde las Pymes cumplan con el límite máximo permisible de la norma, las emisiones de plomo seguirían contribuyendo a los efectos nocivos en la salud de sus trabajadores y de la población.

Si se toman acciones respecto al manejo y control de los residuos peligrosos, se tendría incidencia en la aportación que estos tienen en toxicidad y ecotoxicidad, lo cual se puede reflejar al disminuir el riesgo por exposición de esas sustancias. Así por ejemplo si una empresa tiene una producción mensual de 100,000 circuitos los cuales utilizan soldadura de plomo, considerando que en la planta pueda llevarse a cabo un adecuado control y manejo de la escoria de soldadura, además de comprar una recuperadora de dicha soldadura, se evitaría en el panorama más optimista 22.2 kg. de plomo emitido a la atmósfera, al suelo o al agua.

5.3 Manejo de residuos sólidos

Dentro del proceso de ensamble de electrónicos se manejan diversidad de residuos sólidos, tales como remanentes de cartón, plástico, pins e incluso en algunos casos scrap que si tienen un manejo adecuado pueden ser comercializados y de los cuales se pueden obtener ingresos.

Las grandes empresas llevan a cabo programas de separación de residuos, y al cabo de un mes o el tiempo necesario de colección de un determinado volumen de los residuos en la planta, estos son dispuestos a empresas recicladoras. Las empresas venden sus residuos o los donan a personas que se dedican a comercializar con ellos. Si los residuos son comercializados, los ingresos son equiparados con lo necesario para cubrir las necesidades de otros recursos como el gasto de energía eléctrica por ejemplo.

5.4. Consumo de empaque

Respecto al consumo de empaque, los resultados en este estudio indicaron que se consume de 0 a 0.1 kg por unidad producida.

Se puede llevar a cabo acciones desde el diseño del producto, esta recomendación va dirigida a aquellas empresas grandes que manufacturan productos completos, ya que tienen opción de negociar con los clientes para que cubran sus requerimiento pero de igual manera trabajen en la disminución del uso del empaque.

Para las Pymes una alternativa importante sería que siempre y cuando el proceso y el requerimiento de los clientes se lo permitan, disminuir el consumo de empaque nuevo y maximizar el reuso; hay empresas que ensamblan componentes como placas de circuitos, y cuyos empaques son enviados por los clientes o manejan cajas de plástico reusables. Estas cajas tienen mayor tiempo de vida que los empaques de cartón y permiten transportar con seguridad el producto evitando que tengan algún problema durante su manejo y transporte.

5.5 Análisis de factibilidad

Para llevar a cabo cualquiera de las recomendaciones propuestas en este capítulo es necesario conocer los requerimientos necesarios de implementación en materia institucional, financiera, técnica, social y regulatoria.

El cuadro 5.2 presenta un resumen de los aspectos involucrados en el desarrollo de las recomendaciones propuestas, con la intención de visualizar los recursos que requieren al decidir seguir alguna de estas acciones.

Hay diferentes niveles de recomendación, en algunos casos la inversión es mínima y los beneficios son notorios a nivel económico, social y por ende ambiental.

Cuadro 5.2 Análisis de Factibilidad

Recomendación/Aspecto	Institucional	Financiero	Técnico	Social	Regulatorio
Energía Eléctrica					
Programa de ahorro de energía		X	X	X	
Programa de separación de residuos		X	X	X	
Cambio en maquinaria	X	X	X	X	X
Generación de energía in situ	X	X	X	X	X
Residuos peligrosos					
Programa de manejo de residuos	X	X	X	X	X
Recuperación de soldadura	X	X	X	X	X
Cambio en tecnología a soldadura libre de plomo	X	X	X	X	X
Emisiones					
Sistemas de control y mitigación	X	X	X	X	X
Sistemas de recuperación de solventes	X	X	X	X	X
Empaque					
Programa de separación de residuos no peligrosos		X	X	X	
Cambio en diseño de productos (empaque)	X	X	X	X	
Reuso de empaque en proceso	X			X	

Fuente: Elaboración propia

Las acciones inmediatas que se pueden llevar a cabo son las que requieren menores recursos sobre todo desde el punto de vista económico. En primer lugar, una opción para iniciar el trabajo son los programas tanto de ahorro de energía como de manejo de residuos, ya que la decisión de llevarlas a cabo está en función de la propia decisión del administrador o dueño de la empresa. Se requiere una inversión de tiempo y disposición de los empleados más que una inversión financiera. Otra alternativa, es el reuso de materiales como el empaque siempre y cuando el proceso así como las especificaciones y requerimientos de los clientes lo permitan.

En estas acciones los resultados se pueden visualizar a corto plazo. Por ejemplo, si se inicia con el programa de ahorro de energía la efectividad de las acciones se debe reflejar en el siguiente recibo de consumo de electricidad.

Las acciones a mediano plazo son los sistemas de mitigación y control y los equipos de recuperación de materiales, en donde se requiere de una inversión pero que se pueden ir planeando de acuerdo a los recursos financieros de la empresa, apoyados por los beneficios recibidos a través de las acciones a corto plazo mencionadas con anterioridad. La recuperación de la inversión incluso se puede recuperar en meses.

Las acciones que requieren de mayor inversión son los cambios en la maquinaria o cambios en la tecnología, los cuales se pueden visualizar a largo plazo.

Por lo que iniciar con acciones que demanden menos recursos económicos es una opción, sin dejar de lado que se requerirá un compromiso real por parte de todos los miembros de la organización.

5.6 Consideraciones finales

Este estudio mostró que las actividades productivas en la industria, específicamente la maquila de ensamble de electrónicos, están íntimamente ligadas al medio ambiente y que atender aspectos ambientales significa un beneficio económico, social, regulatorio y de salud pública en las propias acciones productivas. La relación entre los factores, como se develó en este estudio, es compleja pero no por eso indescriptible; por el contrario, aquí se captura la relación mediante una ecuación que describe el desempeño ambiental en base a siete variables ambientales: consumo de energía eléctrica, generación de residuos peligrosos (sólidos, líquidos y escoria de soldadura), generación de compuestos orgánicos volátiles y consumo del empaque. La descripción aquí presentada rebasó el mero sentido matemático y se tradujo en indicadores cuantitativos del desempeño ambiental derivados de la práctica empresarial existente capturados durante el extenso trabajo de campo realizado. A manera de ayuda para la toma de decisiones en la empresa maquiladora que ensambla electrónicos, además se presentan recomendaciones factibles e integrales para su mejora de desempeño ambiental.

A partir de este trabajo de investigación se detectaron algunas áreas de oportunidad que estudios posteriores pueden abordar, como el análisis de uno de los productos principales manufacturados en Tijuana: la TV, ya que este producto lleva intrínsecamente numerosos procesos como el ensamble de partes, componentes y circuitos, y otros productos que tienen poco valor agregado pero sí considerables efectos ambientales en la región. El ciclo de vida de la televisión, desde la adquisición de materias primas hasta la disposición como residuos al terminar su vida útil, es un objeto de estudio interesante que si se complementa con un análisis de flujo de materiales bien podría revelar la cadena de impactos ambientales por localidad de manufactura.

BIBLIOGRAFÍA

- Barajas, Ma. del Rosio, Carmen Rodríguez y Humberto García, 2006, “Procesos de aprendizaje en la industria maquiladora de exportación (IME) y las tecnologías ambientales en tres ciudades fronterizas del norte de México: Tijuana, Mexicali y Ciudad Juárez”, en *Third North American Symposium on Assessing the Environmental Effects of Trade*, México, pp. 62.
- Barroso, Francisco, 2007, “Responsabilidad social empresarial: concepto y sugerencias para su aplicación en empresas constructoras”, en *Ingeniería*, Yucatán, Universidad Autónoma de Yucatán, pp. 65-72
- Bartolomeo, M., Dal Maso, De Jong, P., Groenewegen P., Hopkinson P., James P., Nijhuis L., Orninge M., Scholl G., Slab A. y Zaring O. 2003, “Eco-efficient producer services - what are they, how do they benefit customers and the environment and how likely are they to develop and be extensively utilised?”. *Journal of Cleaner Production*. Vol. 11: 829–837.
- Boylestad, Robert y Louis Nashelsky, 2003, *Electrónica: Teoría de circuitos y electrónicos*, México, Pearson Education, pp.1040
- Burrirt, Roger y Chika Saka, 2006, “Environmental management accounting applications and ecoefficiency: Case studies from Japan”, *Journal of Cleaner Production*. Vol. 14: 1262-1275.
- Cámara Nacional de la Industria de Transformación y Secretaría de Desarrollo Económico, 2009, “Directorio de maquiladoras 2009”, en <<http://www.bajacalifornia.gob.mx/sedeco/estadisticas/directorios/maquiladoras2009Tijuana.pdf>>consultado el 20 de diciembre de 2009.
- Carrillo Jorge y Redi Gomis, 2004. *La maquiladora en datos*, Tijuana, El Colegio de la Frontera Norte, pp. 295.
- _____ y Alfredo Hualde, 2006, “Competitividad y escalamiento industrial en México: de la televisión análoga a la digital”, México, *Comercio Exterior*, vol. 56, núm. 7, julio, pp. 565-580.
- _____, Humberto García y Redi Gomis, 2008, “¿Ha evolucionado la maquiladora ambientalmente”? en Mercado Alfonso e Ismael Aguilar en *Sustentabilidad ambiental en la industria, tendencias internacionales y experiencias mexicanas*, México-Monterrey, El Colegio de México-Tecnológico de Monterrey, p. 351-371.

Cajiga, Juan, 2008, “El concepto de responsabilidad social empresarial”, México, Centro Mexicano para la Filantropía (CEMEFI), en <<http://www.cemefi.org/esr/pdf/El%20concepto%20de%20Responsabilidad%20Social%20Empresarial%20vers08.pdf>> consultado el 21 de mayo de 2010

CESPEDES, 2008. “Política Ambiental y Ecoeficiencia en la Industria: Nuevos Desafíos en México”, CESPEDES, México en <<http://www.cce.org.mx/cespedes/publicaciones>> Consultado el 13 de febrero de 2010.

Comité nacional de producción más limpia, 2007. “Técnicas para la producción más limpia”, Chile. Disponible en <http://www.produccionlimpia.cl/medios/ProduccionLimpia/Cap_1_Tecnicas.pdf> consultado el 3 de mayo de 2010.

Comunicación social, 2007. “Reconoce gobierno del estado a empresas por su alto desempeño ambiental en Baja California”, Gobierno de Baja California, 20 de julio en <<http://www.ciudadtijuana.com/noticias/2007/julio/20julio/bcreconocetij.html>> consultado el 14 de noviembre de 2009.

Contreras, Oscar, 2008, “Maquiladoras, aprendizaje tecnológico y política industrial en el norte de México”, México, *Economía informa*, núm. 352, mayo-junio, pp. 127-146 en <<http://132.248.45.5/publicaciones/econinforma/pdfs/352/08oscarcontreras.pdf>> revisado 7 de noviembre de 2009.

Corral, Antonio, Iñigo Isusi y Antonio Vives, 2005, “Responsabilidad social de la empresa en las Pymes de Latinoamérica”, Washington, Banco Interamericano de Desarrollo, p.200

Correa María Emilia, Sharon Flynn y Alon Amit, 2004. *Responsabilidad Social Corporativa en América Latina: Una visión empresarial*, Santiago de Chile, CEPAL, pp. 77.

Durucan, Sevket, Anna Korre y Gabriela Muñoz-Meléndez, 2006, “Mining Life Cycle Modelling: A Cradle to Gate Approach to Environmental Management in the Minerals Industry”, *Journal of Cleaner Production*, 2006, pp.1057-1070

Ejecutivo Federal, Plan Nacional de Desarrollo 1983-1988

Ejecutivo Federal, Plan Nacional de Desarrollo 1989-1994

Ejecutivo Federal, Plan Nacional de Desarrollo 1995-2000

Ejecutivo Federal, Plan Nacional de Desarrollo 2001-2006

Ejecutivo Federal, Plan Nacional de Desarrollo 2007-2012

Environmental Protection Agency (EPA), 1990, "Pollution prevention act", en <http://www.epa.gov/p2/pubs/p2policy/definitions.htm#source> consultado el 29 de abril de 2010

Friedman, Milton, 2000. "The Social Responsibility of Business is to increase its Profits". en Des Jardins, J. R. y J. J. Mc Cal. 1 ed. *Contemporary Issues in Business Ethics*. Wadsworth, Belmont, CA. p.8-12.

Falck, Oliver, y Stephan Hebllich, 2007, "Corporate social responsibility: Doing well by doing good", Alemania, *Business Horizons*. Vol. 50, pp. 247-254.

García, Humberto [tesis de maestría], 1998. "Trayectorias productivas y Tecnología Ambiental en la industria maquiladora electrónica de Tijuana", Tijuana, El Colegio de la Frontera Norte, Maestría en Desarrollo Regional, sin pie de imprenta.

Gómez, María Helena, Luz Matilde Florez, Raúl Cardona, Carolina Isaza, Daniel Villa y Mario Rendón, 2006, "Producción más limpia en el área metropolitana del Valle de Aburrá (Antioquia, Colombia)". *Producción más limpia*, Colombia, vol. I, núm. 1, enero-junio, pp. 7-31.

González-Aréchiga, Bernardo y Rosio, Barajas, comps., 1989 "Introducción" en *Las maquiladoras ajuste estructural y desarrollo regional*, México, Fundación Friedrich Ebert- El Colef, pp. 11-18.

González, Edgar y María del Rocío Barajas, 2004, "Procesos de aprendizaje en la industria electrónica maquiladora ¿Una senda predefinida?" en Carrillo Jorge y Raquel Partida en *la Industria Maquiladora Mexicana*. México, El COLEF y Universidad de Guadalajara, pp.19-67

Guinée Jeroen, Marieke Gorrée, Reinout Heijungs (editores), 2001. "Life cycle assessment: an operational guide to the ISO standars", Centre of environmental science-Leiden University.

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), 2007, "Industria maquiladora de exportación", en *Estadísticas económicas*, febrero, 2007, pp. 1-186, en http://www.inegi.gob.mx/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/continuas/economicas/maquiladora/ime/ime.pdf consultado el 13 de noviembre de 2009.

- Jenkins, Rhys, 2001, “Corporate codes of conduct. Self regulation in a global economy”, Suiza, United Nations Research Institute for Social Development (UNRISD), p. 47.
- _____ y Mercado, Alfonso (edits.) 2008. *Ambiente e industria en México. Tendencias, regulación y comportamiento empresarial*. México, D.F. El Colegio de México, 2008, pp. 526.
- Jollands, Nigel, Jonathan Lermitt y Murray Patterson, 2004, Aggregate eco-efficiency indices for New Zealand – a principal components analysis, *Journal of Environmental Management*. Vol. 73: 293–305.
- Kopinak, Kathryn y Saúl Guzmán, 2005, “Hacia una teoría de la industria maquiladora mexicana que considere los impactos en el medio ambiente” en Carrillo Jorge y Claudia Schatan en *El medio ambiente y la maquila en México: un problema ineludible*, CEPAL, México, 2005, pp. 203-249.
- Lara, Arturo, Alejandro García y Jaime Arellano, 2007, “Coevolución tecnológica de empresas maquiladoras y talleres de maquinado” en Lara, Arturo en *Coevolución de empresas maquiladoras, instituciones y regiones: una nueva interpretación*. México, UAM, pp. 181-209
- Leal, José, 2005, *Ecoeficiencia: marco de análisis, indicadores y experiencia*, Santiago de Chile, CEPAL, pp. 82.
- Lehni Markus, 2000. “Eco-efficiency: creating more value”, World Business Council for Sustainable Development, Estados Unidos, octubre 2000 ISBN 2-940240-17-5, en <<http://www.wbcsd.org>> consultado el 5 de abril de 2010.
- Leyva, Ruth, 1998, “Reestructuración e industria maquiladora” en *Reestructuración industrial, educación tecnológica y formación de ingenieros*, México, Anuiés, sin páginas en <http://www.anuiés.mx/servicios/d_estrategicos/libros/lib26/45.htm> consultado el 18 de mayo de 2009.
- Logan, David, Delwin Roy y Laurie Regelbrugge, 1997, *Global Corporate Citizenship-Rationale and Strategies*, Washington DC: The Hitachi Fundación. Marsden C and J. Andriof, 1998, *Towards an Understanding of Corporate Citizenship and How to Influence it*, *Citizenship Studies* 2, pp. 329-352.
- Macía Víctor, 1999. “El reto de la ecoeficiencia, la productividad de los recursos y la ecoinnovación en el sur de la UE”, Barcelona, Agencia Europea del Medio Ambiente, pp. 11.

- Machado, Clemy, Zaira Berti y Leticia Caraballo, 2002, “Balance Social para la empresa venezolana. Modelo de la Fundación Escuela de Gerencia Social”, Caracas, Chamber of Commerce & Industry (VenAmCham) y la Fundación Escuela de Gerencia Social, en <http://www.gerenciasocial.org.ve/centro/publicacion_pdf/pe_10.pdf> consultado el 4 de mayo de 2010.
- Méndez, Elizabeth, 1995, “La industria maquiladora en Tijuana: riesgo ambiental y calidad de vida”, *Comercio Exterior*. Vol. 45 No. 2 Febrero, pp. 159-163.
- Medina, Laura, 2008, “Analizando las normas en que se basan las acciones de responsabilidad social empresarial (RSE) en México”. en *Contabilidad y Auditoría*, núm. 28, diciembre, pp. 105-152 en http://www.econ.uba.ar/www/servicios/Biblioteca/revista_cya/28/medina.pdf
- Medina-Ross, Verónica. 2005. “Los negocios y el ambiente: una relación cambiante” en Mercado Alfonso e Ismael Aguilar en *Sustentabilidad ambiental en la industria, tendencias internacionales y experiencias mexicanas*. México-Monterrey, El Colegio de México-Tecnológico de Monterrey, pp. 63-106.
- Mickwitz, Per, Matti Melanen, Ulla Rosenström y Jyri Seppälä, 2006, "Regional eco-efficiency indicators e a participatory approach", *Journal of Cleaner Production*. Vol. 14: 1603-1611.
- Montalvo, Carlos, 1992. *Costo Ambiental del Crecimiento Industrial: el Caso de la maquiladora eléctrica en Tijuana, B.C.*, México, Friederich Ebert Stiftung, pp.127
- Montalvo, Carlos, 2008. “¿Puede la industria maquiladora cambiar a un paradigma de producción limpia? en Mercado Alfonso e Ismael Aguilar en *Sustentabilidad ambiental en la industria, tendencias internacionales y experiencias mexicanas*. México-Monterrey, El Colegio de México-Tecnológico de Monterrey, pp. 63-106.
- Montes, Jenny [tesis de maestría], 2008, “Ecoeficiencia: una propuesta de responsabilidad ambiental empresarial para el sector financiero colombiano”, Medellín, Colombia, Universidad Nacional de Colombia, Maestría en Medio Ambiente y Desarrollo, sin pie de imprenta.
- Muñoz-Meléndez Gabriela, Margarito Quintero-Núñez y Alan Sweedler, 2010, *Energy for a Sustainable Border Region in 2030*. SCERP monographs. USSD. In press
- Núñez, Georgina, 2006, *El Sector Empresarial en la Sostenibilidad Ambiental: Ejes de Interacción*. División de Desarrollo Sostenible y Asentamientos Humanos de la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). Naciones Unidas, Santiago de Chile, p. 93

- Organization for Economic Co-operation and Development (OECD), 1998, *Eco-efficiency*. Paris en <http://www.oecd.org/document/27/0,3343,en_2649_34331_2397339_1_1_1_1,00.html> consultado el 20 de junio de 2010.
- Paladino, Marcelo, 2004, *La responsabilidad de la Empresa en la sociedad: construyendo la sociedad desde la tarea directiva*, Argentina, Ed. Ariel, pp. 370
- Paz Rojas Tomás, [tesis de maestría], 1996, "El comportamiento ambiental de una maquiladora de componentes electrónicos y el efecto de los instrumentos económicos", Tijuana, El Colegio de la Frontera Norte, Maestría en Economía Aplicada, sin pie de imprenta.
- Pérez, Giovanni y David Bedoya, 2005, "Las Estrategias de Responsabilidad Social en la Expansión Global, Nuevo Paradigma de la Gestión Empresarial". *Gestión y Ambiente*. Vol. 8(2), pp. 173–180.
- Prado, Andrea, Juliano Flores, Lawrence Pratt y Enrique Ogliastrri, 2004, *Marco Lógico y Conceptual del Modelo de Responsabilidad Social Empresarial para Costa Rica*, en <http://conocimiento.incae.edu/ES/clacds/nuestras-investigaciones/pdf/904_marco_logico_y_conceptual.pdf> consultado el 30 de mayo de 2010.
- Procuraduría Federal de Protección al Ambiente (PROFEPA), 2009, *Estadísticas del programa nacional de Auditorías Ambientales* en <<http://www.profepa.gob.mx/PROFEPA/AuditoriaAmbiental/ProgramaNacionaldeAuditoriaAmbiental/EstadisticasdelIPNAA/>> consultado el 2 de noviembre de 2009.
- Ranganathan, Janeth, 1998, "Sustainability Rulers: Measuring Corporate Environmental and Social Performance", Washington, DC, *Sustainable Enterprise Initiative*. pp. 1-12 en <http://pdf.wri.org/sustainability_rulers.pdf> consultado el 21 de mayo de 2010.
- Romero Blanca, 2003. "Análisis de ciclo de vida y la gestión ambiental", *Tendencia tecnológicas*, Boletín IIE julio-septiembre, pp.91-97, en <<http://www.iie.org.mx/boletin032003/tend.pdf>> consultado el 4 de mayo de 2010.
- Schatan, Claudia y Liliana Castillejos, 2004, *La industria maquiladora electrónica en la frontera norte de México y el medio ambiente*, CEPAL, México, pp.43
- Schaltegger, Stefan y Roger Burritt, 2000, *Contemporary Environmental Accounting - Issues, Concepts and Practice*. Greenleaf Publishing, Sheffield, pp. 370

- Schmidheiny, Stephan, 1992, *Changing Course: A Global Business Perspective on Development and the Environment*, Massachussets, WBCSD, 15a. edición, p. 374
- Secretaría de Economía, 2006, “Decreto por el que se modifica el diverso para la operación de la industria maquiladora de exportación”, México, Diario Oficial de la Federación, Tomo DCXXXVIII No. 1, 1º de noviembre, pp. 18-65.
- Secretaría de Economía, 2009, “Acuerdo por el que se establece la estratificación de las micro, pequeñas y medianas empresas”, México, Diario Oficial de la Federación, 13 de diciembre.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2001). Programa Nacional de Medio Ambiente y Recursos Naturales 2001-2006. SEMARNAT. México. 172.
- Sony Corporation, Sony Green Partner Activities, en <<http://www.itic.org/clientuploads/Sony%20Declaration%20-%20Exhibit.pdf>> consultado el 24 de febrero de 2010.
- Van Hoof, Bart y Carlos Manuel Herrera, 2007. “*The Evolution and Future Perspectives of Cleaner Production in Colombia*”, Colombia, July/Dec., no.26. pp. 101- 120 ISSN 0121-4993. en: <http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0121-49932007000200013&lng=en&nrm=iso> consultado el 19 de abril de 2009.
- Von Glascoe, Cristina y Duane Metzger, 1997, “La percepción del riesgo ambiental del plomo: una comparación de tres grupos en Tijuana, B.C.”, Tijuana, *Frontera Norte*, vol. 9, núm. 17, enero-junio.
- World Commission on Environment and Development (WCWD), 1987, “Brundtland Commission Report: *Our Common Future*”, New York: Oxford University Press.

ANEXO 1

Selección de la muestra

En esta sección se describe el procedimiento para la selección de la muestra de acuerdo a la base de datos generada a partir del directorio electrónico de maquiladoras correspondiente al 2009 emitido por la CANACINTRA y la SEDECO del estado de Baja California.

En primer lugar se hizo un extracto de las empresas registradas con el giro de Industria electrónica dando un total de ciento cuatro compañías ubicadas en Tijuana. La base fue ordenada considerando nombre de la empresa, ubicación, número de empleados, parque industrial, giro, producto, origen del capital, tamaño de empresa.

Se utilizó el programa de estadística SPSS 15.0 para Windows, partiendo de la obtención de estadísticos descriptivos para conocer la muestra y posteriormente realizar la selección, clasificada de acuerdo a los puntos anteriores y ponderando a cada una.

Cuadro A1.1. Frecuencias por proceso y tamaño de muestra (n)

Proceso	Total de compañías por proceso		
BATERIA	1		
CAB	3	N	102
CIRC	2	n2	0.37
COMP	21	n3	0.23
DISC	1	n4	0.40
MOT	1		
POT	1		
REFR	1		
REP	2		
TELEF	1		
TRANS	1		
TV	6		

Fuente: Elaboración propia con base en directorio de CANACINTRA

En segundo lugar, se realizó la ponderación para cada proceso y se consideró la probabilidad de inclusión de acuerdo a:

If (TipodeEmpresa=1) peso = (39/13).

If (TipodeEmpresa=2) peso = (23/10).

If (TipodeEmpresa=3) peso = (38/13).

Execute.

En tercer lugar, se seleccionó de manera aleatoria de acuerdo al tamaño y al proceso productivo. Los resultados obtenidos se muestran en el cuadro A1.2.

En cuarto lugar, se determinó una tamaño de muestra $n = 50$. Finalmente, se contactaron a tal número de empresas vía electrónica y por teléfono. De éstas 23 aceptaron colaborar en la realización del estudio proporcionando los datos requeridos.

Conjuntamente con la clasificación por tipo de proceso, se realizó una clasificación de la muestra de acuerdo al tamaño de empresa (número de empleados). Ya que se tiene especial interés en abordar el cumplimiento ambiental de la pequeña y mediana empresa denominada Pymes. La distribución se muestra en el gráfico 2.2., donde se puede apreciar que las Pymes representan el 59 por ciento del total de las empresas registradas y que además los procesos con mayor frecuencia entre la pequeña y mediana industria son los dedicados tanto al ensamble de componentes electrónicos como al ensamble de placas de circuitos electrónicos y el ensamble de transformadores.

Indicadores de productividad

Como se comenta en el capítulo IV, los indicadores propuestos por Leal (2005) respecto a la ecoeficiencia van a la par de los indicadores de la productividad.

Dichos indicadores están basados en la relación entre el valor de la producción respecto a los insumos, en este caso respecto a la influencia ambiental (consumo de recursos o generación de desechos).

Se consideraron los datos de producción y de influencia ambiental separando de acuerdo a cada variable propuesta. De esta manera se obtiene los datos de productividad en función del consumo de energía, scrap, escoria de soldadura, residuos peligrosos líquidos, residuos peligrosos sólidos, compuestos orgánicos volátiles y empaque, como se muestran en el Cuadro A1.3

Cuadro A1.2. Muestra seleccionada en función del tamaño de empresa y de proceso

Muestra seleccionada (empresa grande)			Muestra seleccionada (empresa mediana)			Muestra seleccionada (empresa chica)		
Empresa	Tamaño empleo	Proceso	Empresa	Tamaño empleo	Proceso	Empresa	Tamaño empleo	Proceso
1	300	CIRC	11	200	REP	2	80	CIRC
6	1020	COMP	16	250	COMP	14	70	BOBINAS
23	253	COMP	21	180	COMP	17	78	ELEV
28	1600	COMP	26	164	FOT	20	33	COMP
31	300	CIRC	34	169	COMP	27	90	TRANS
33	800	COMP	63	120	COMP	29	17	COMP
35	1000	COMP	65	130	CIRC	38	50	COMP
36	330	COMP	75	240	COMP	42	70	COMP
50	3000	TV	85	118	CAB	49	80	TRANS
51	2550	TELEF	86	200	COMP	54	30	PANSOL
52	1800	COMP	94	116	COMP	59	30	CIRC
55	800	COMP	95	250	COMP	77	48	COMP
71	1100	TV	96	120	CIRC	83	70	COMP
78	1500	COMP				87	25	CIRC
82	7000	TV				92	60	CIRC
88	280	COMP						
101	680	DISC						
102	600	COMP						

Fuente: Elaboración propia con base en el directorio de maquiladoras.

Cuadro A1.3 Indicador de productividad con base en la influencia ambiental.

	Productividad						
	f(CE)	f(S)	f(E)	f(RL)	f(RS)	f(COV)	f(EQ)
pequeñas	2.6	57.6	180.7	69.8	55.2	208.0	27
medianas	6	629	2318	502	147	171	60
grandes	0.6	983	3200	3583	961	3501	83

Elaboración propia a partir de Inventario de Insumos y Desechos

El cuadro muestra que la productividad es inversamente proporcional al consumo de recursos y generación de residuos, es decir, un aumento en el consumo de energía va a disminuir la productividad si la producción se mantiene constante. De igual manera, cuando se incrementa la generación de residuos también disminuye la productividad porque está indicando que el aprovechamiento de los materiales de entrada no se está llevando a cabo de manera eficiente.

ANEXO 2

INVENTARIO DE INSUMOS Y RESIDUOS GENERADOS

PROCESO: _____

EMPRESA: _____ ENTREVISTADO: _____ PUESTO: _____

ASPECTO	ENSAMBLADO	SOLDADURA	VERIFICACIÓN	TERMINADO	EMPAQUE
Energía (KWh)					
Consumo mensual total					
% de energía utilizada por fase					
Generación de energía <i>in situ</i> (KWh)					
Tipo de combustible utilizado					
Cantidad de combustible (lt/mes)					
Agua (m3)					
Consumo mensual total					
% utilizado por fase					
% de agua tratada y reusada					
Residuos					
Scrap mensual generado (kg)					
% de scrap generado por fase					
Tipo de residuos peligrosos					

Cantidad de residuos peligrosos generados por fase (kg/mes)*					
Materiales					
Tipo de soldadura empleada					
Kg. mensuales de soldadura utilizados					
Soldadura desechada (kg/mes)					
Adhesivo utilizado (kg. o litros)					
Empaque total utilizado (kg/mes)					
% de cartón del total del empaque					
% de plástico del total del empaque					
% de cartón/plástico reutilizado					
Emisiones atmosféricas					
Compuestos orgánicos volátiles (mg/hrs.)					
PST					
Producto final (piezas/mes)					
Observaciones:					

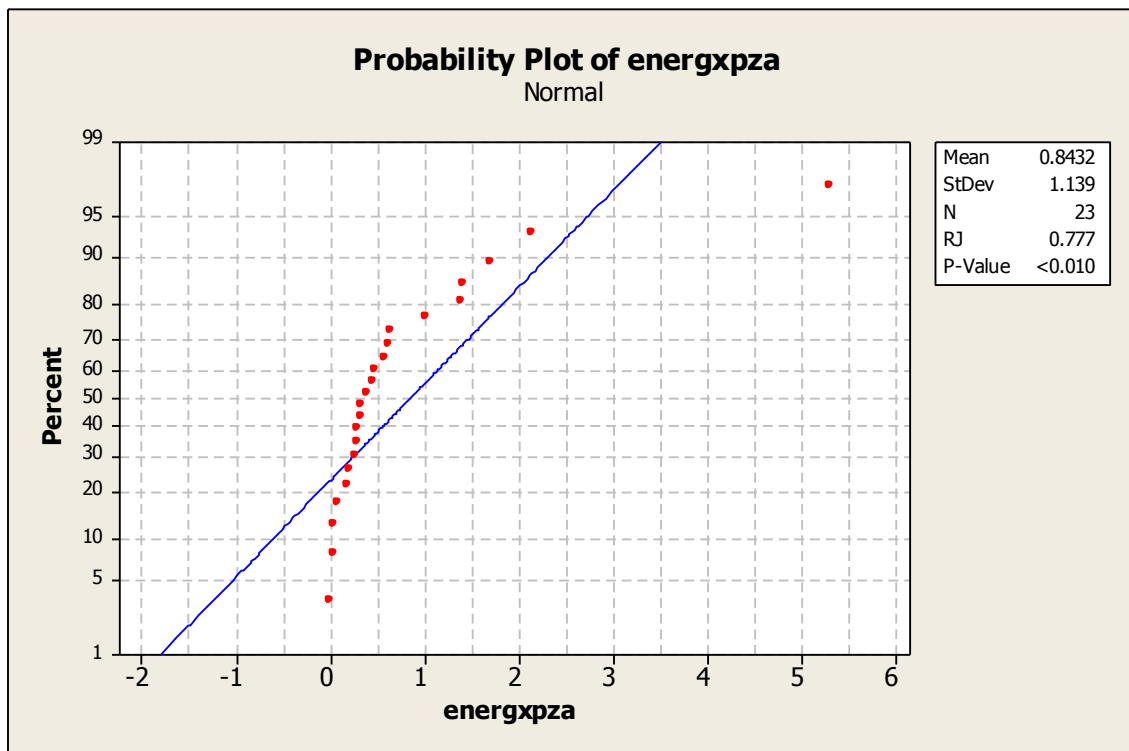
ANEXO 3

En esta sección se muestra el análisis estadístico desarrollado en la construcción del modelo de producción limpia ECOPLAMEX propuesto en esta investigación.

Las variables ambientales se seleccionaron en función del análisis del proceso productivo correspondiente al ensamble de componentes, circuitos y transformadores. Los datos de las variables fueron recolectadas mediante el inventario de insumos y desechos. Se integró una base de datos con las variables ambientales y otras variables como el tamaño de empresa, el proceso productivo que se lleva a cabo, y el origen de capital.

Se realizaron pruebas de normalidad a de cada variable y se obtuvieron gráficas de probabilidad por medio del programa estadístico MINITAB, aplicados como se muestra en los gráficos A3.1 al A3.4, los cuales dan ejemplos de la análisis estadísticos por variables al azar más que un recuento detallado de cada variable.

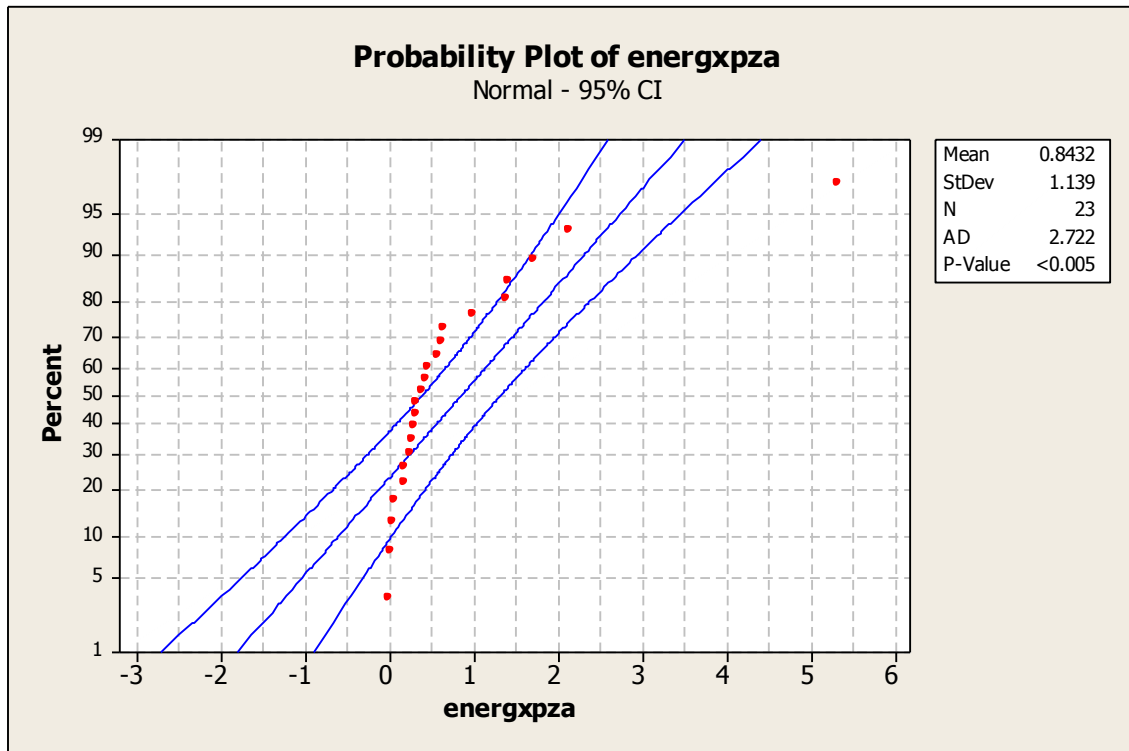
Gráfico A3.1 Pruebas de normalidad para la variable energía por pieza producida



Fuente: Elaboración propia generado en MINITAB con datos del inventario de insumos y desechos

Tanto la prueba de normalidad como el gráfico de probabilidad (Gráfico A3.2) muestran que la variable consumo energético (por pieza producida) no sigue un comportamiento normal, esta misma situación se repitió en el resto de las variables con excepción de la variable empaque.

Gráfico A3.2 Distribución de probabilidad de la variable energía por pieza producida.



Fuente: Elaboración propia generado en MINITAB con datos del inventario de insumos y desechos

Una vez que se probó que comportamiento de las variables no es normal se les aplicó la transformación Box-Cox para normalizarlas.

Transformación Box-Cox.

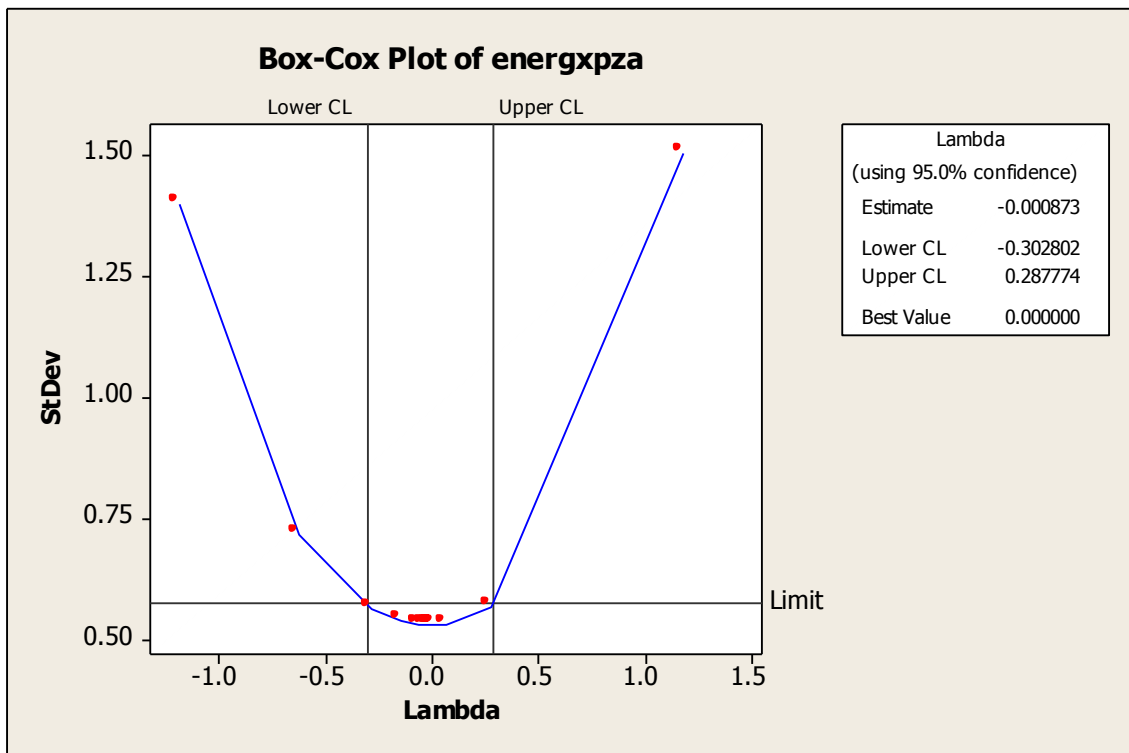
El programa MINITAB cuenta con la opción de transformación de las variables a través del método Box-Cox, que se basa en encontrar el valor de lambda que servirá para establecer la ecuación de transformación que se deberá utilizar.

El resultado de salida muestra un gráfico en donde se registran los valores estimados y el valor óptimo para lambda.

Los valores de lambda están en el rango de -5 a 5. Si $\lambda=0$ entonces la transformación se realiza mediante la aplicación del logaritmo natural. Para una $\lambda=5$ se transforma obteniendo la raíz cuadrada de los datos.

Para el caso de la variable energía (Gráfico A3.3) el valor óptimo para lambda es 0 por lo tanto el programa utilizó el logaritmo natural (ln) de los datos para la transformación

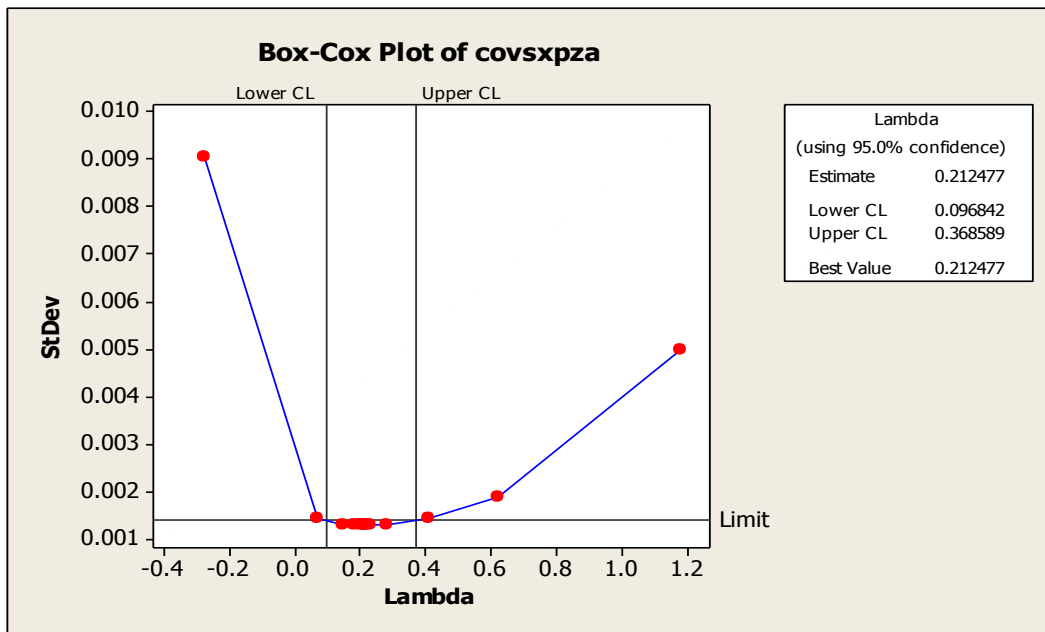
Gráfico A3.3. Transformación Box-Cox para la variable energía por unidad producida.



Fuente: Elaboración propia generado en MINITAB con datos del inventario de insumos y desechos

En el caso de la variable compuestos orgánicos volátiles el valor de $\lambda=0.21$, en este caso para la transformación se aplica una potencia, es decir $Y=a^\lambda$. Ver Gráfico A3.4.

Gráfico A3.4. Transformación Box-Cox de la variable COV por unidad producida.



Fuente: Elaboración propia generado en MINITAB con datos del inventario de insumos y desechos

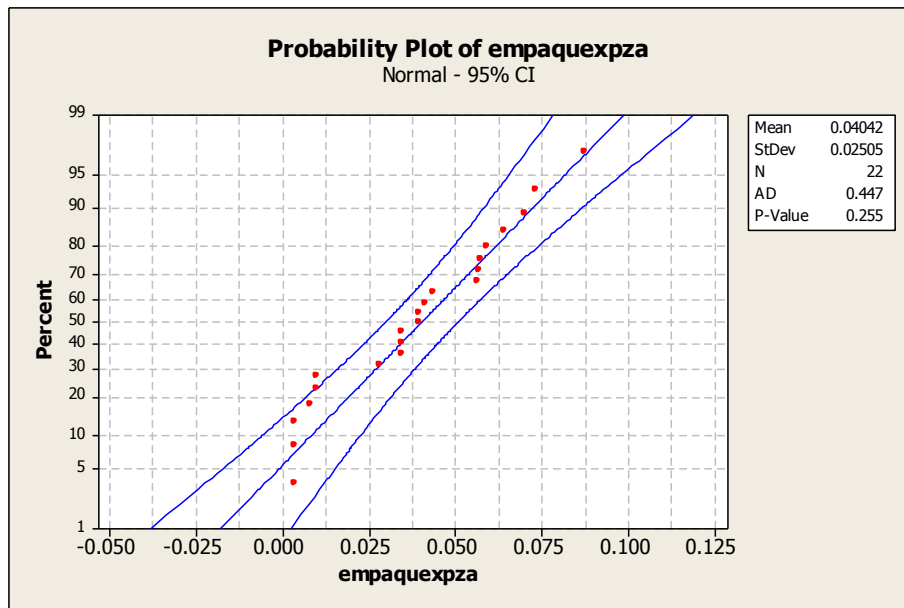
Siguiendo el mismo procedimiento se realizaron las pruebas a todas las variables, excepto a la de empaque, porque mostró un comportamiento normal desde el origen como puede apreciarse en el Gráfico A3.5.

Una vez evaluadas todas las variables y encontrando la función utilizada se prosiguió a la integración de la función para el desempeño ambiental como se muestra en el capítulo IV ecuación 4.13.

$$DA = \ln(CE) + (RS)^{-0.24} + \ln(E) + \ln(S) + EQ + \ln(RL) + (COV)^{0.21}$$

Se aplicó nuevamente pruebas de normalidad y gráficos de probabilidad para verificar la transformación realizada. Como se muestra en el Gráfico A3.6.

Gráfico A3.5. Distribución de probabilidad para la variable empaque por unidad producida



Fuente: Elaboración propia generado en MINITAB con datos del inventario de insumos y desechos.

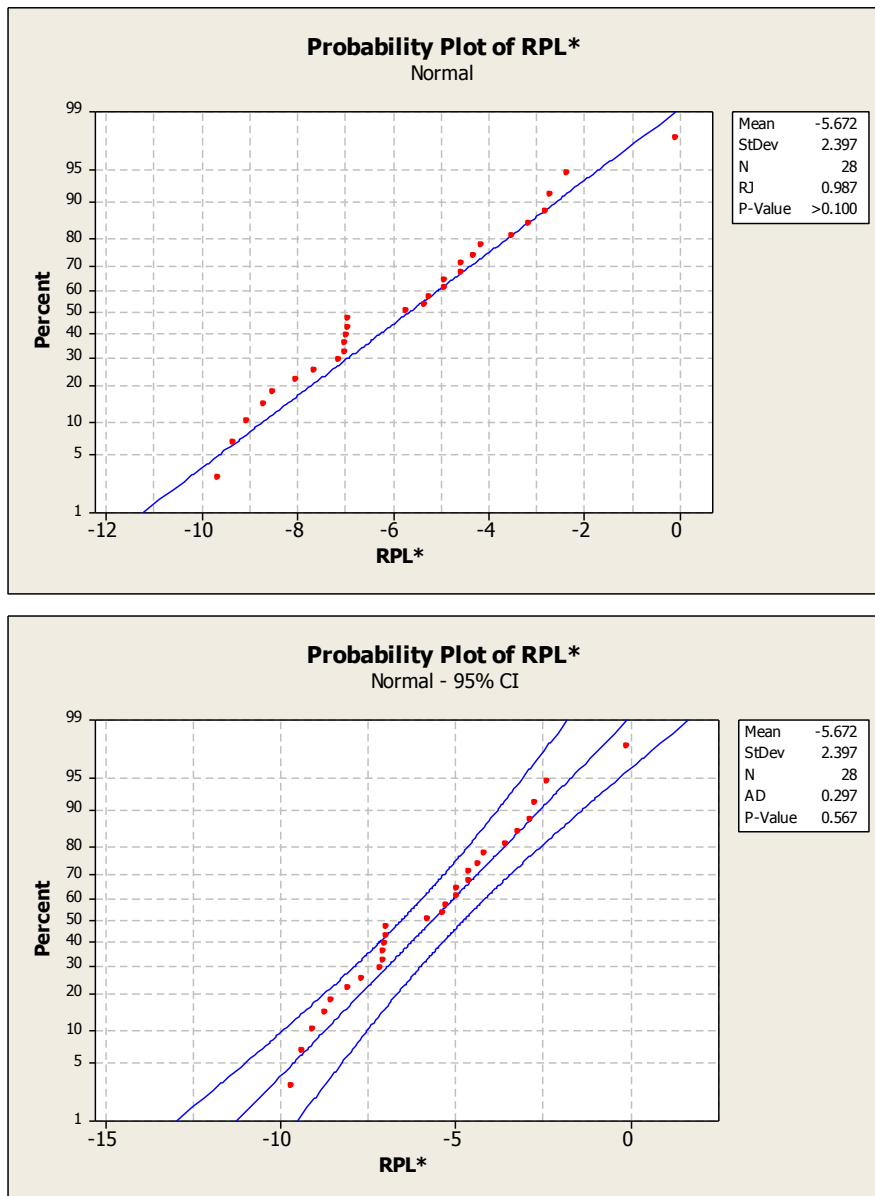
Se realizó un análisis de componentes principales, y de acuerdo a la matriz de correlaciones y la generación de las nuevas variables indica que las variables propuestas en el modelo no presentan colinealidad, ya que el análisis propone siete nuevos componentes.

Eigenanalysis of the Correlation Matrix
20 cases used, 3 cases contain missing values

Eigenvalue	3.5477	1.3376	0.9018	0.5690	0.4117	0.1513	0.0808
Proportion	0.507	0.191	0.129	0.081	0.059	0.022	0.012
Cumulative	0.507	0.698	0.827	0.908	0.967	0.988	1.000

Variable	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5	PC6	PC7
transescoria	-0.203	0.655	-0.258	-0.506	0.413	0.160	-0.107
transenergia	-0.253	-0.172	-0.870	0.142	-0.279	0.210	0.082
transrpsolidos	0.490	0.153	0.043	0.121	-0.212	0.698	-0.434
transrpliquidos	-0.491	-0.048	0.054	0.369	0.174	-0.129	-0.755
transempaque	-0.244	0.646	0.169	0.272	-0.620	-0.128	0.142
transscrap	-0.369	-0.304	0.234	-0.658	-0.472	0.168	-0.183
transcovs	-0.467	-0.078	0.297	0.258	0.264	0.618	0.411

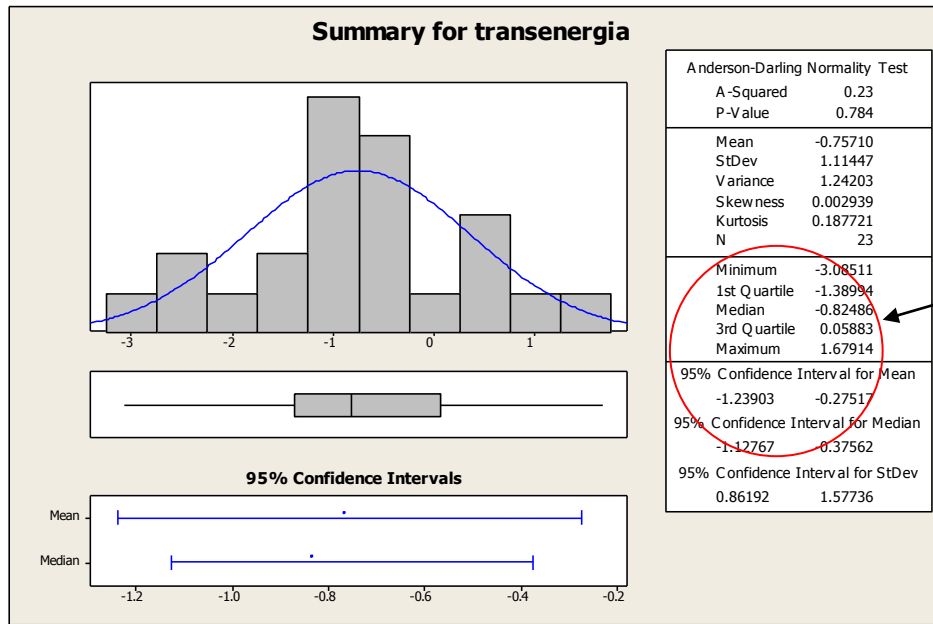
Gráfico A3.6. Pruebas de normalidad y gráficos de probabilidad de la variable transformada residuos peligrosos sólidos.



Fuente: Elaboración propia generado en MINITAB con datos del inventario de insumos y desechos.

Una vez evaluada la ecuación del desempeño ambiental y las variables que la construyen, se determinaron los intervalos en los que oscila cada variable. Esto se realizó con base en la distribución de los cuartiles que muestra el resumen de estadísticos generado en el programa, como se ilustra en el Gráfico A3.7.

Gráfico A3.7. Resumen de la variable transformada de la energía por unidad producida.



Fuente: Elaboración propia generado en MINITAB con datos del inventario de insumos y desechos.

La autora es Ingeniera Química egresada de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. Se ha desarrollado tanto en el ámbito laboral como académico. Fue profesora en el área de Ingeniería en Alimentos de la B.U.A.P. Campus Tehuacán y en el Instituto Tecnológico de Tehuacán. Ha trabajado en la industria en el área ambiental. Egresada de la Maestría en Administración Integral del Ambiente de El Colegio de la Frontera Norte.

Correo electrónico: silviambalderas@gmail.com

© Todos los derechos reservados. Se autorizan la reproducción y difusión total y parcial por cualquier medio, indicando la fuente.

Forma de citar:

Balderas, Silvia (2010). Diseño de un modelo de producción limpia para la industria de ensamble de electrónicos. Tesis de Maestra en Administración Integral del Ambiente. El Colegio de la Frontera Norte, Tijuana, México. 83 pp.