



# POSGRADOS

## MAESTRÍA EN PRODUCCIÓN Y OPERACIONES INDUSTRIALES

RPC-SO-30-No.506-2019

OPCIÓN DE  
TITULACIÓN:

ARTÍCULOS PROFESIONALES DE ALTO NIVEL

TEMA:

MODELO CONCEPTUAL DE UN PLAN DE ACCIÓN PARA LA  
IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE GESTIÓN DE LA PRODUCCIÓN  
BASADO EN ECONOMÍA CIRCULAR EN UNA INDUSTRIA DE ENSAMBLAJE  
ELECTRÓNICO

AUTOR:

ANDRÉS OMAR VALDEZ SIAVICHAY  
JULIO ADRIÁN BARROS ORTEGA

DIRECTOR:

FERNANDO ANDRÉS VIVAR BRAVO

CUENCA - ECUADOR  
2022

***Autores:***



***Andrés Omar Valdez Siavichay***

Ingeniero Mecánico.

Candidato a Magíster en Producción y Operaciones Industriales por la Universidad Politécnica Salesiana – Sede Cuenca.

andresovaldez@hotmail.com



***Julio Adrián Barros Ortega***

Ingeniero en Biotecnología de los Recursos Naturales.

Candidato a Magíster en Producción y Operaciones Industriales por la Universidad Politécnica Salesiana – Sede Cuenca.

jabo\_94@hotmail.com

***Dirigido por:***



***Fernando Andrés Vivar Bravo***

Economista.

Magister en Administración de Empresas.

fvivar@ups.edu.ec

Todos los derechos reservados.

Queda prohibida, salvo excepción prevista en la Ley, cualquier forma de reproducción, distribución, comunicación pública y transformación de esta obra para fines comerciales, sin contar con autorización de los titulares de propiedad intelectual. La infracción de los derechos mencionados puede ser constitutiva de delito contra la propiedad intelectual. Se permite la libre difusión de este texto con fines académicos investigativos por cualquier medio, con la debida notificación a los autores.

**DERECHOS RESERVADOS**

©2022 Universidad Politécnica Salesiana.  
CUENCA – ECUADOR – SUDAMÉRICA  
VALDEZ SIAVICHAY ANDRÉS OMAR  
BARROS ORTEGA JULIO ADRÍAN

***MODELO CONCEPTUAL DE UN PLAN DE ACCIÓN PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE GESTIÓN DE LA PRODUCCIÓN BASADO EN ECONOMÍA CIRCULAR EN UNA INDUSTRIA DE ENSAMBLAJE ELECTRÓNICO***

# **MODELO CONCEPTUAL DE UN PLAN DE ACCIÓN PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE GESTIÓN DE LA PRODUCCIÓN BASADO EN ECONOMÍA CIRCULAR EN UNA INDUSTRIA DE ENSAMBLAJE ELECTRÓNICO**

Julio Adrián Barros Ortega

*Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador. Programa de Producción y Operaciones  
Industriales*

Andrés Omar Valdez Siavichay

*Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador. Programa de Producción y Operaciones  
Industriales*

Resumen: El estudio esboza un modelo conceptual de un sistema de Gestión de Economía Circular para optimizar el uso de recursos no renovables en los procesos productivos de ensamblaje de televisores con tecnología WebOs, lo que implica reorganizar los procesos productivos y de soporte, que presenten estructuras lineales en la empresa de ensamblaje electrónico. Aplicando el diseño industrial orientado a mejorar las condiciones actuales, buscando el mejor sistema de gestión de residuos y reutilización de materias primas, que impliquen factores adecuados para este tipo de empresa productiva, estimando el tiempo y los recursos necesario para la ejecución de este modelo, los costes y beneficio económicos a los que se deban incurrir para su implementación y puesta en marcha de este plan. La reestructuración será tratada de manera macro, por las condiciones actuales de pandemia y debido al bache económico consecuente de la misma. La propuesta es formulada en forma amplia, en consideración de la emergencia sanitaria y de la reducción de ingresos que ella ha provocado, sin embargo, al ser un modelo conceptual, resulta aplicable a empresas similares. Este plan arrancará en la empresa de ensamblaje electrónico en 2022 y finalizará en 2025, con inversiones orientadas a reforzar el diseño industrial y a fortalecer el espíritu organizacional, la concientización acerca de los limitados recursos naturales y la necesidad mundial de preservarlos a toda costa.

Palabras Clave: Economía circular, ensamblaje electrónico, televisores, materia prima renovable, procesos lineales, producción circular.

# CONCEPTUAL MODEL OF AN ACTION PLAN FOR THE IMPLEMENTATION OF A PRODUCTION MANAGEMENT SYSTEM BASED ON CIRCULAR ECONOMY IN AN ELECTRONIC ASSEMBLY INDUSTRY

Julio Adrián Barros

*Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador. Programa de Producción y Operaciones  
Industriales*

Andrés Omar Valdez

*Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador. Programa de Producción y Operaciones  
Industriales*

The present article approaches a model of a Circular Economy Management system, whose aim is optimizing the use of non-renewable resources in the productive processes involved in the assembly of televisions with WebOs technology, which implies reorganizing the production and support processes, which present linear structures in the electronic assembly company. Applying industrial design focus at improving current conditions, looking for the best waste management system and reuse of raw materials, which imply adequate factors for this type of productive company, estimating the time and resources necessary for the execution of this model, the economic costs and benefits that must be incurred for the implementation and start-up of this plan. The renovation will be treated in a macro way, due to the current pandemic conditions and due to the consequent economic downturn. The proposal is broadly formulated, in consideration of the health emergency and the reduction in income that it has caused, however, being a conceptual model, it is applicable to similar companies. This plan will start in the electronic assembly company in 2022 and will end in 2025, with investments aimed at reinforcing industrial design and strengthening the organizational spirit, raising awareness about limited natural resources and the global need to preserve them at all costs.

Keywords: Circular economy, electronic assembly, televisions, renewable raw material, linear processes, circular production.

## 1. Introducción

La idea de la economía circular nace en la literatura occidental a partir de los estudios de Pearce & Turner (1990). Incluso uno de sus capítulos lleva por encabezado el título “Economía circular”, acuñando éste término en la cotidianeidad de la industria (Peace & Turner, 1990, p. 98).

La economía circular aplicada en una industria de ensamblaje electrónico, busca optimizar el uso de los recursos no renovables, aquellos que existen en cantidades limitadas en la naturaleza, el petróleo, los minerales, los metales, el gas natural, así como otros productos derivados de los combustibles fósiles (Ayala & Sanabria, 2018 ; Barros, 2016). Al perfeccionar los procesos de producción y diseño del producto, manejo e innovación de materiales, optimización de residuos, energías y demás insumos necesarios para producir un bien. Si consideramos solo el aspecto energético de la producción obtendremos que: “Aproximadamente el 81% de la energía consumida a nivel mundial proviene de fuentes fósiles, mientras que el 19% restante proviene de fuentes renovables” (Paredes & Ramirez, 2017, p. 23), bajo el manejo productivo de desperdicios en las industrias, analizado a través de distintos índices y planteado de manera estandarizada, se podrían definir parámetros idóneos para su adecuado uso.

Las naciones unidas en su informe de los Objetivos de Desarrollo Sostenible de 2019 describe la situación actual de la siguiente manera, “Si la población mundial llegase a alcanzar los 9600 millones en 2050, se necesitaría el equivalente de casi tres planetas para proporcionar los recursos naturales precisos para mantener el estilo de vida actual” (Naciones Unidas, 2015, p. 87) derivado del Acuerdo de París de 2015, que estableció los parámetros para la estabilización climática en +1,5°C en el marco de la Convención de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático.

Mantener el aumento de la temperatura media mundial muy por debajo de 2 °C con respecto a los niveles preindustriales, y proseguir los esfuerzos para limitar ese aumento de la temperatura a 1,5 °C con respecto a los niveles preindustriales, reconociendo que ello reduciría considerablemente los riesgos y los efectos del cambio climático (United Nations, 2015).

Los ejes para manejar esta problemática se relacionan con la disminución de los gases de efecto invernadero y el cambio a una economía circular en el contexto de un desarrollo sostenible que incida en los procesos de manufactura actuales, buscando una interconexión entre ellos, “las

partes se proponen lograr que las emisiones mundiales de gases de efecto invernadero alcancen su punto máximo lo antes posible” (United Nations, 2015, p. 26).

Las Naciones Unidas, la Unión Europea, y países como Australia y Nueva Zelanda entre otros, se encuentran generando normativas para tratar esta problemática “La economía circular multiplica la productividad de los recursos extraídos de la naturaleza: por lo tanto, cumple con los objetivos fijados por la UE en materia de eficacia en el uso de los recursos” (Frérot, 2014, p. 15).

Entre los objetivos del documento se encuentran:

1) Identificar los factores del diseño de producto fundamentados en la economía circular para la reestructuración de los procesos productivos.

2) Definir los parámetros de gestión de residuos y reutilización de materias primas para el análisis de la afectación en el proceso de programación de la producción.

3) Estimar el ahorro en tiempos de ejecución de los procesos productivos para evaluar los resultados de la propuesta de aplicación del sistema de economía circular en la empresa de ensamblaje electrónico.

## **2. Antecedentes y marco teórico**

### **2.1. Definición del sector de ensamblaje electrónico**

Las empresas de ensamblaje electrónico de televisores inician su proceso de diseño y construcción bajo los principios de la luz LED (diodos emisores de luz) y el uso de PMMA, un plástico usado en la ingeniería capaz de dispersar los haces de luz provenientes del LED de manera uniforme. En las industrias de ensamblaje electrónico se utilizan máquinas que incrustan cada uno de los elementos necesarios para su funcionamiento en una placa prefabricada, esta placa es testeada y preparada para su uso (Hsu & Hu, 2008). Las herramientas necesarias para el auge de dicha industria son variadas, desde pequeños condensadores o inductores hasta el uso masivo de los polímeros del metacrilato de metilo, todos estos materiales pueden ser reintegrados a la cadena de producción, de seguirse una serie de pasos (Jin, Li, Wang, & Gao, 2017).

### **2.1.1. Importancia en la economía mundial e impacto local y nacional**

La electrónica juega un papel crucial y de vital importancia en el crecimiento de la industria. Equipos de medición, registro, controladores y de comunicación funcionan gracias al diseño electrónico y a sus puertas lógicas (Jin, Li, Wang, & Gao, 2017).

Algunos autores han afirmado lo siguiente:

El sector electrónico-informático y de las telecomunicaciones (SE-IT), formado por el sinnúmero de actividades industriales y de servicios encadenados por las tecnologías elementales del circuito integrado, el software y la digitalización, se ha transformado en el sector articulador y el dínamo del crecimiento en la nueva fase de desarrollo de la economía mundial que inicia en el decenio de 1980 (Ordoñez, Bouchain, Munguía, Vázquez, & Chávez, 2017).

La dinámica y la importancia de la industria electrónica (IE), en tanto que componente industrial del SE-IT, han estimulado notables flujos de comercio mundial, a tal grado que durante la década de 1990, el comercio de productos electrónicos mostró el mayor crecimiento comparado con el resto de las ramas de la industria mundial, proceso en el cual la IE arrastró a la industria eléctrica, cuando esta última se constituyó en la principal fuente de aprovisionamiento energético de la primera (Ordoñez, Bouchain, Munguía, Vázquez, & Chávez, 2017).

### **2.2. Problemática del sector de ensamblaje electrónico**

Según el Programa para el Medio Ambiente de las Naciones Unidas, se generan cerca de 50 millones de toneladas de desechos electrónicos al año. Y la mayoría no pasan por el sistema de reciclaje óptimo para el medio ambiente, lo que puede llegar a afectar a la salud de los humanos (United Nations E-waste Coalition, 2019). Durante los últimos años, el frenesí con el que la tecnología se ha desarrollado nos ha demostrado que cada vez recurrimos más a la misma y aún no podemos lidiar con la cantidad de basura electrónica generada. Programas como el PNUMA (Programa para el medio ambiente de las Naciones Unidas) han sido diseñados para hacerle frente a este inconveniente de escala mundial. Existen innumerables materiales peligrosos dentro de algunos aparatos electrónicos, entre ellos metales pesados como el: mercurio, plomo, cadmio,

romo, arsénico o antimonio, los cuales son susceptibles a afectar la salud humana (Jimenez Ballesta, 2017). Por ejemplo, se sabe que el mercurio es capaz de afectar el sistema nervioso central y periférico, además de no ser biodegradable (Gaioli, Amoedo, & González, 2012, p. 12) y el plomo afecta el sistema circulatorio y causa deterioro intelectual (Azcona-Cruz, Ramírez, & Vicente-Flores, 2015).

Por ende, organismos reguladores tanto nacionales como internacionales buscan regular esta pérdida de materiales. Algunos estudios realizados estiman que podemos encontrar hasta 60 elementos de la tabla periódica en la electrónica compleja, y varios de ellos son técnicamente recuperables (Ayala & Sanabria, 2018). Incluso estimaciones muestran la posibilidad de obtener hasta 55 000 millones de euros al año solo en materiales (De la Torre, Guevara, & Espinoza, 2009).

### **2.3.Simbiosis industrial y la economía circular**

En el Ecuador existen algunas industrias especializadas en el reciclaje electrónico. Estas fábricas se encuentran alineadas con los objetivos para el desarrollo sostenible establecidos por la ONU para el año 2030 (ONU, 2015). El trabajo mancomunado con estas industrias podría ayudar a alcanzar los objetivos de economía circular necesarios hoy en día. La simbiosis industrial es una forma de trabajo y desarrollo que busca un bien en común y un beneficio propio. Mantener un estado simbiótico entre las industrias es un proceso a todas luces complejo y difícil de sostener. Sin embargo, los beneficios son mucho más cuantiosos tanto para las empresas involucradas como para la sociedad cuando sus objetivos están alineados (Balboa & Somonte, 2014).

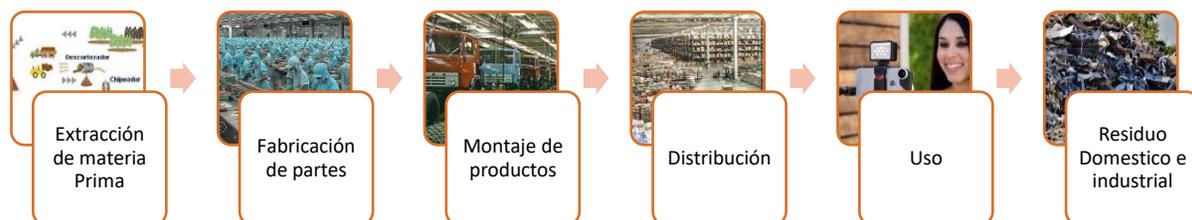
### **2.4.Aplicación de la economía circular**

La economía circular representa una salida a las crisis medioambientales, cambio climático y socioeconómicas actuales “La economía circular es un modelo económico que surge de la verdadera concienciación sobre la finitud de los recursos naturales y la necesidad de preservarlos” (Frérot, 2014, p. 51), supone dejar atrás el modelo de economía lineal (extraer - producir - consumir y tirar), y sustituirlo por un nuevo modelo de sociedad implicada en utilizar y optimizar los stocks y los flujos de recursos materiales. Es una economía cuyo objetivo es que el valor de los productos, materiales y recursos se mantenga en circulación durante el mayor tiempo posible y que se reduzca al mínimo la generación de residuos (Porcelli & Martínez, 2018).

Un sistema de Economía Circular, tiene algunos ejes y dependiendo del autor se los puede nombrar de diferente manera, entre ellos se destacan:

- Eco-Diseño de los productos.
- Durabilidad de los productos o bienes.
- Eco-consumo.
- Reutilización y reparación.
- Reciclado de residuos.
- Materias primas secundarias, y
- La Ecología Industrial (Cerdá & Khaliyova, 2016)

Basados en el texto de Innovación en economía circular de Cerdá & Khaliyova (2016), para entender a qué hace referencia un sistema de gestión de economía circular, se debe imaginar al sistema económico actual como una línea recta, al principio de la cual se encuentra la extracción de los recursos naturales y por la cual se avanza siguiendo por la fabricación de las partes y piezas de los productos, luego su distribución y utilización, hasta llegar al final de la línea, donde los productos son desechados y convertidos en residuos (Sandoval, Jaca, & Ormazabal, 2017).



*Figura 1 Descripción de un sistema de economía lineal. Elaboración propia*

## 2.5. Factores de diseño

En la actualidad existe un aumento exponencial en residuos de aparatos electrónicos y eléctricos, esto determinado bajo el consejo de comunidades europeas, y en particular, sus artículos 100 y 235 (Directiva 75/442/CEE del Consejo, 15 de julio de 1975). Este término abarca todos aquellos componentes, integrados y elementos que son parte del aparato eléctrico-electrónico. Algunas leyes europeas (BOE, 28 de julio de 2011, p. 62), omiten aparatos de uso biológico, militar, bombillas caseras de tipo incandescente, luminarias de domicilios particulares y herramientas de gran envergadura. Según la iniciativa “Una nueva visión circular para la electrónica” (United Nations E-waste Coalition, de enero del 2019), en 2016 se produjo

aproximadamente 44.7 megatoneladas de desechos electrónicos, entre ellos, aparatos para regulación de temperatura (7.6 Mt.), equipamiento casero pequeño (16.8 Mt.), electrodomésticos de línea blanca (9.1 Mt.), lámparas (0.7 Mt.), tabletas y teléfonos, entre otros (3.9 Mt.), televisores y pantallas variadas (6.6 Mt.). Lo mencionado no solo representa un problema para la capacidad sanitaria del planeta, sino también una pérdida de material químico valioso difícil de recuperar. Elementos como el litio, magnesio, escandio, entre otros, son de disponibilidad limitada y es complejo recuperarlos a largo plazo, y la escasez de plata, zinc o galio, se convierten en una seria amenaza de disponibilidad para los próximos cien años. La polución causada por el minado de estos materiales también representa un problema. La extracción de cobre, zinc, cromo, selenio, entre otros, no ha podido ser amigable con el medio ambiente a pesar de los cambios realizados y gestiones de distintos gobiernos locales (Zhang, *et al*, 2012; Hiatt & Huff, 2007; Northey, Haque, & Mudd, 2013). Sin embargo, la minación mas contaminante hasta la actualidad sigue siendo la del oro indispensable en la construcción de aparatos electrónicos (Ako, *et al*, 2014; Barbour, 1994; Ouboter, *et al*, 2012). En 2020 las medallas para los juegos paraolímpicos de Tokio fueron fabricadas en su totalidad de desechos electrónicos. Aproximadamente 2700 kilogramos de bronce reciclado, 1800 kilogramos de plata reciclada y 30.3 kilogramos de oro reciclado, esto solo limitado a los residuos de los hogares japoneses (Arguedas, 2018).

Para combatir esta polución y apoyar la economía circular planteada, el artículo propone un modelo de reciclaje de aparatos electrónicos. Estos elementos pueden ser recuperados directamente desde un buzón de recepción de los mismos con los cuales el consumidor podrá recibir un descuento o una remuneración según sea el caso por su equipo en desuso, iniciando un proceso de recuperación de material electrónico sensible y de metales de darse el caso, cuyo proceso de extracción excede los alcances de esta investigación. La reintegración de los componentes electrónicos en la línea de producción, podría no solo representar un ahorro a la industria electrónica sino también, apoyar al medioambiente y a su recuperación. La separación de piezas consiste en purificar y dividir las placas y su contenido, en pequeños conjuntos relacionados entre sí, todos los desechos plásticos pueden ser reciclados bajo diferentes procesos ya conocidos en distintos ambitos de la industria; el material electrónico, testeado; y una vez confirmado su funcionamiento, reintegrado a la línea de producción; placas como baquelitas y distintos soportes de piezas electrónicas sometidas a un proceso de tostación, lixiviación con cianuro y a una posterior purificación, con el fin de obtener metales de baja disponibilidad y no renovables que en

cierto punto podrían reutilizarse o aplicarse con distintas finalidades, y posiblemente, en distintas industrias (De la Torre, Guevara, & Espinoza, 2009; Ramírez, 2008).

En la práctica es necesario que para la transición a una economía circular exista; los materiales y productos no sean tratados tan solo en su fase final, sino también en su fase de diseño y concepción (Loterio, 2018). Los productos diseñados deben ser fabricados para múltiples ciclos de vida y maximizar su durabilidad (United Nations, 2018). Además, los componentes de los productos deben estar estandarizados con el fin de facilitar su desmontaje, recuperación y reutilización para que permanezcan continuamente en el ciclo de producción (Molina & Zaldumbide, 2020). Este concepto puede permitir la no eliminación permanente de ciertos productos (Lacy & Rutqvist, 2016).

### **3. Objetivos**

#### **3.1. Objetivo General**

Proponer un modelo conceptual de un plan de acción para la implementación de un sistema de economía circular que permita optimizar los recursos en los procesos productivos lineales de una empresa de ensamblaje electrónico.

#### **3.2. Objetivos específicos**

- a) Identificar los factores de diseño de producto fundamentados en la economía circular que afecta directamente a la reestructuración de los procesos productivos para su consideración.
- b) Definir los parámetros de gestión de residuos y homologación de materias primas que afectarán en el proceso de la producción para su análisis.
- c) Estimar los tiempos de ejecución de la propuesta de aplicación del sistema de economía circular en la empresa de ensamblaje electrónico para su implementación.

## **4. Metodología**

Partiendo de una premisa muy importante, y haciendo que el enfoque de la implementación, no gire alrededor del reciclaje, ni de una dilatada concreción de resultados, podemos decir que:

- a) El estudio de implementación buscará optimizar los recursos existentes en la planta de producción.
- b) Mantendrá a los proveedores internacionales, sin sobrepasar el material originario ecuatoriano (MOE) exigido por los entes de regulación nacionales.
- c) El estudio presentará resultados para tres años de trabajo continuo tanto para los temas gerenciales así como para el departamento de diseño y desarrollo de proveedores y productos, que serán los encargados de poner en marcha el plan.
- d) Los residuos electrónicos generados, se seguirán tratando con la alianza estratégica con la empresa ecuatoriana dedicada a dicha gestión.

### **4.1. Diagnóstico de la empresa de ensamblaje electrónico**

La planta de ensamblaje está ubicada en la ciudad de Cuenca, Ecuador, dispone de una capacidad instalada de 73 500 (valor obtenido con la disminución del 6% por paros y seteos de líneas y asumiendo que se trabajará en un solo turno durante este año) fabricados al año, el 98% de la materia prima llega desde china de dos proveedores principales, y el restante 2% se adquiere de manera local. Antes de iniciar la producción, se escogen los modelos de televisor. La producción está dividida en línea de ensamblaje de televisores y la línea de producción de tarjetas electrónicas.

Al iniciar el proceso de fabricación de tarjetas electrónicas resalta la necesidad de partes y piezas solicitadas a los proveedores de la empresa que generalmente se encuentran localizados en China, tanto de material SMD (dispositivos de montaje superficial) y de material electrónico THT (dispositivos de agujero pasante), conforman el material electrónico necesario para elaborar una placa PCBA (tarjeta electrónica ensamblada). La PCB (tarjeta electrónica sin componentes) de igual manera es importada desde China, y en la Empresa se elaboran 4 tamaños de televisores 32, 43, 55 y 65 pulgadas, cada una de ellas con su propia tarjeta PCBA.

El proceso productivo inicia con la impregnación de estaño en las pistas de la PCB, luego se montan, con robots entre 900 a 1000 componentes SMD por cada una de las tarjetas PCB, para

pasar a curar (introducir en un horno) la placa PCBA y soldar los componentes, después de terminado este proceso se ejecuta una verificación de todas las partes SMD colocadas y se procede a colocar los componentes THT que serán fijados con un horno de ola de estaño líquido.

Una vez terminada la tarjeta electrónica (PCBA) ésta es retocada manualmente y llevada al banco de pruebas, en el cual se realiza la medición de recepción de señal y voltajes de salida para la pantalla. Al momento de concluir las pruebas, las tarjetas son etiquetadas y resguardadas para su posterior paso a la línea de ensamblaje.

En la línea de ensamblaje al igual que en la producción de tarjetas electrónicas, el material necesario para ensamblar un televisor es importado desde China, entre los elementos principales tenemos: carcasa, tornillos, parlantes, pantalla, botoneras, material de empaque, etc.

En la línea de ensamblaje se procede al montaje de partes (carcasa, tornillos, tarjetas, pantalla) y ajuste de estas, para conformar el producto. Luego se efectúa el respectivo control de calidad y su posterior embalaje. Todas las partes que conforman un televisor son adheridas paso a paso en una línea de ensamblaje, entonces se procede con una prueba de estrés para cada equipo durante 6 horas en las cual se busca garantizar su correcto funcionamiento. La prueba está basada en estresar la pantalla y verificar el correcto ajuste de las piezas montadas. Luego de este proceso el televisor es etiquetado y empacado para su comercialización. Adicional a estos procesos la empresa cuenta con un servicio de posventa, en el cual recepta las inquietudes y problemas que surgen con sus equipos y el consumidor final. El proceso se encarga de la verificación del problema y posteriormente de la reparación del equipo afectado.

#### **4.2. Diagrama de procesos**

La empresa en la actualidad posee un sistema lineal de producción como se muestra en la figura 2. Los departamentos interactúan vagamente entre sí, para la toma de decisiones que involucran el devenir de la compañía, las directrices vienen desde el grupo empresarial o desde la gerencia general.



*Figura 2 Sistema lineal de producción. Elaboración propia*

### 4.2.1. Importar

Los modelos para importar son elegidos mediante el catálogo de productos de los proveedores extranjeros, son tres proveedores y cuatro tamaños de equipo, los cuales son seleccionados según el criterio de los vendedores del grupo corporativo y la alta dirección de la empresa, se importan las muestras de cada modelo y una vez en el país se aprueban los equipos a ensamblar, en los respectivos entes de control estatales. Con los papeles y los modelos aprobados, se efectúa las negociaciones con el proveedor o los proveedores seleccionados. Para cada tamaño de equipo se coloca el pedido y se cancela el anticipo económico, los proveedores preparan el lote del pedido, se consolida y se embarca con destino a Ecuador, una vez en el país se realiza el proceso gubernamental de desaduanado y se traslada el producto a la planta de producción.



*Figura 3 Proceso de importación. Elaboración propia*

### 4.2.2. Producir

El proceso de producción está dividido en el seteo de línea (programación de maquinaria y hornos), producción de PCBA y el ensamblaje de los televisores, los mismos están compuestos por un sin número de pasos. Este análisis se centra en describir los procesos productivos que conlleven injerencia o se puedan tratar con la implementación del sistema de Economía Circular, sin dejar por fuera los procesos que sean indispensables para entender el proceso en general.

#### 4.2.2.1. Seteo de líneas

Las líneas de producción son calibradas, ajustadas y programadas con el fin de garantizar el correcto desarrollo del proceso productivo, este proceso es puesto a prueba con la producción del lote piloto, esta corrida inicial sirve para afinar todos los parámetros antes mencionados y

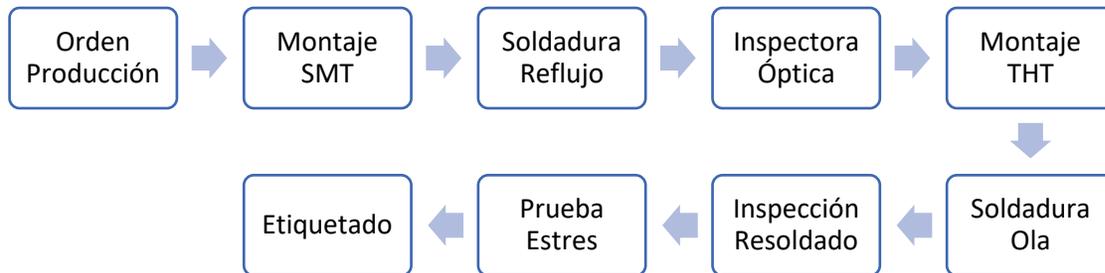
entrar a la producción en masa. La disminución de la capacidad de producción en un año por el seteo de las líneas y paros para mantenimiento ha llegado a ser de alrededor de 6%.



*Figura 4 Desarrollo del proceso de seteo de líneas. Elaboración propia*

#### **4.2.2.2. Producción de PCBA**

La producción de la placa electrónica (PCBA) esta compuesta por varios pasos, de los cuales describiremos en esta reseña los más importantes y comunes para el fin del estudio.



*Figura 5 Desarrollo del de producción en masa dentro de la industria analizada, Elaboración propia*

**Montaje SMT:** En la placa PCB se impregna pasta de estaño para colocar uno a uno los componentes electrónicos mediante maquinaria con brazos robóticos, los cuales están provistos de servo motores, alimentación neumática y energía eléctrica. Los ciclos de producción son repetitivos y oscilan entre 2.5 y 3 minutos.

**Soldadura de Reflujo:** Este proceso se encarga de unir los componentes SMD con la PCBA, fundiendo la pasta de estaño colocada en el proceso anterior, en el interior del horno se hace fluir aire caliente a diferentes temperaturas, buscando un curado perfecto.

Soldadura de Ola: En este paso a la PCBA, luego de colocarle manualmente los componentes THT; son soldados a las pistas de la placa mediante la impregnación de estaño líquido a 280°C, la velocidad de la máquina es de 0.6 m/min

#### 4.2.2.3. Ensamblaje

El ensamblaje se lo realiza en la línea de montaje final, en la misma se adhieren las partes de integración nacional (MOE), PCBA y partes importadas una a una en el televisor, que luego de un exhaustivo control de calidad de ensamble es trasladado a la bodega de producto terminado del grupo corporativo, para luego ser despachado al consumidor final.



*Figura 6 Análisis del ensamblaje del producto. Elaboración propia*

#### 4.2.3. Comercialización

La compañía analizada es parte de un grupo corporativo, debido a esta circunstancia toda la producción es derivada a la comercializadora del grupo empresarial.

#### 4.2.4. Implementación a nivel organizacional.

Uno de los primeros pasos será incluir a la EC en la estrategia organizacional, para ello se propone un plan de capacitación que de manera continua haga referencia a los principios de EC, e incluirlos en la visión, misión y objetivos de la empresa. La gerencia general y el departamento de talento humano serán los encargados de encaminar la nueva estrategia organizacional.

En el tema de Ecodiseño los departamentos involucrados directamente son: Importaciones y Diseño, lo cuales deben trabajar conjuntamente en el desarrollo de proveedores optimizando el uso

de materias primas no renovables, enfocándose en materiales reciclables o biodegradables, con el objetivo de minimizar el impacto ambiental en la biosfera (Usón, Usón, & Bribián, 2010).

Los principales componentes de los televisores deberán ser estandarizados, tarjetas, botoneras, soportes, carcasas posteriores. Las pantallas (Open cell) deberán disponer de los mismos conectores estándar para evitar el stock innecesario que se queda estancado en la bodega de partes y piezas proveniente de producciones anteriores.

A corto o mediano plazo, a nivel tecnológico, se requiere cambiar la pasta de soldadura a una “más limpia” y establecer alianzas estratégicas para el manejo adecuado de desechos relacionados con componentes electrónicos caducados (Diepstraten, 2014).

#### **4.2.5. Implementación a nivel productivo.**

Es imperativo arrancar la implementación a nivel productivo con la sensibilización del uso de materiales que representen una amenaza medioambiental, flux líquido, restos de estaño y cualquier otro componente o compuesto que disponga de esta condición o sea catalogado con tal parámetro y sea utilizado en el proceso productivo (Diepstraten, 2014; Scalzo & O'Neil, 2011).

Los cambios para realizar en el montaje de componentes SMD será optimizar los movimientos de los brazos robóticos, según la información recopilada se puede optimizar en un 15% el tiempo de producción, según análisis de estudios similares realizados, para iniciar la implementación oscilaremos entre un 6 al 8% (Llanos Satama & Ilbay, 2019; Baturone, 2005).

#### **4.2.6. Beneficios esperados**

Partiendo de una capacidad instalada en la empresa de: 73 500 equipos ensamblados durante un año de labores (punto descrito en el literal 4.1), nos sirve de punto de partida para la proyección establecida para 2022, tanto de unidades a producir como de rendimiento económico de cada uno de los modelos a ensamblar, cada una de los modelos nos proporcionaría un ingreso que va desde los 350 a los 870 mil dólares anuales, con estos valores podemos decir que la planta está en la capacidad de generar un flujo anual de 2.3 Millones de dólares anuales con un mix de producción constante y conforme a los descrito anteriormente.

Las cantidades proyectadas para el primer año de implementación serán: 29400 de TV 32, 22050 de TV 43, 14700 de TV 55 y por último 7350 de TV 65. Con este mix de producción se optimizará el rendimiento de la producción, lo cual nos garantizará un flujo constante para la implementación del Sistema propuesto.

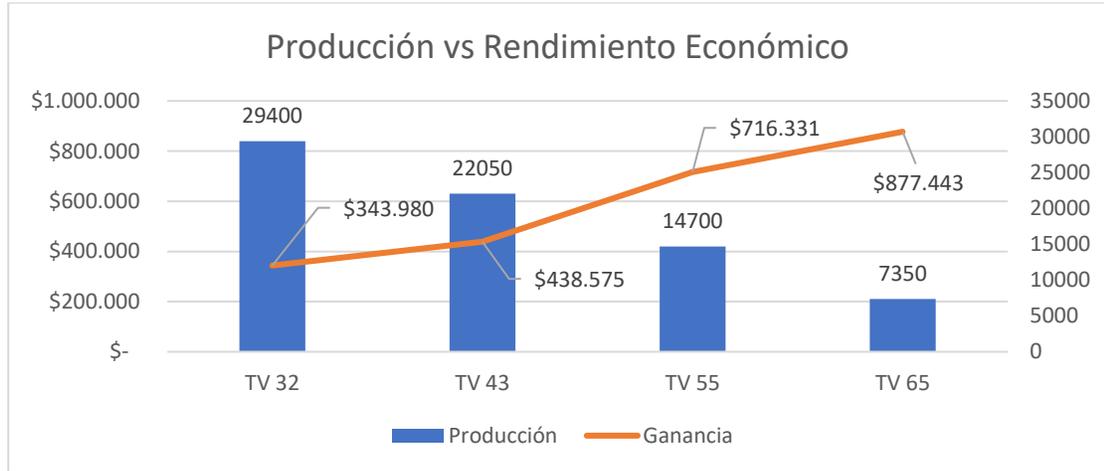


Figura 7 Producción vs. Rendimiento. Elaboración propia

Estos serán los datos para el arranque del análisis, se supondrá que los números proyectados según las estimaciones formuladas se cumplirán en 2022, lo cual no incluye el comportamiento de la sociedad y el país que se encuentra afectado por la pandemia de la COVID.



Figura 8 Inversiones requeridas. Elaboración propia

Las inversiones presupuestadas están alrededor de los \$130 000, entre los principales rubros se encuentran la implementación de un nuevo departamento de diseño, la adquisición de pasta de estaño libre de plomo, capacitaciones continuas dirigidas al personal, el equipamiento de laboratorio para el desarrollo de prototipos, entre los fundamentales, considerándose también un 14% para imprevistos resultantes de la variación del mercado o inversión adicional que se tenga que dar en el tiempo de implementación, estos valores se encuentran descritos en la Tabla 1. Gracias a los años de experiencia y el buen récord con los proveedores de la industria del ensamblaje electrónico se ha logrado mantener los costos del tratamiento de los materiales electrónicos y el estaño libre de plomo tendrá una incidencia mínima en el costo final de cada equipo electrónico.

**Tabla 1**

*Presupuesto estimado*

Inversiones	2022	2023	2024
Plan de Capacitación	\$ 24,375.00	\$ 19,500.00	\$ 15,600.00
Contratación de personal	\$ 15,960.00	\$ 16,800.00	\$ 18,480.00
Compra de estaño libre de plomo	\$ 36,540.00	\$ 38,001.60	\$ 39,521.66
Reciclaje de Componentes Electrónicos caducados	\$ 23,520.00	\$ 23,520.00	\$ 23,520.00
Equipos de Laboratorio y Diseño	\$ 18,794.80	\$ 5,638.44	\$ 2,819.22
Imprevistos	\$ 14,055.30	\$ 13,695.02	\$ 13,597.03
<b>Total:</b>	<b>\$ 133,245.10</b>	<b>\$ 117,155.06</b>	<b>\$ 113,537.92</b>

*Fuente: Elaboración propia*

Los resultados económicos esperados con esta implementación se proyectan lograr a partir del 2023, cuyo comportamiento, se estima, estará en función del aumento de la producción. Como hemos descrito anterior mente no se ha considerado los ahorros generados por la homologación de partes, si no tan solo la homologación de la PCBA, que nos generará un ahorro de aproximadamente 9 ctvs. por unidad, mientras que las partes homologadas, tapas, botoneras, tarjetas T-CON, CHICOFF y demás nos servirán para optimizar los tiempos y los recursos empleados en el servicio técnico a nuestros clientes finales, ya que se dispondrán de una mayor cantidad de partes óptimas para reemplazos o sustituciones por daños en componentes, ya que en el tema económico de acuerdo con las conversaciones sostenidas con los proveedores extranjeros esto no tendrá gran incidencia económica, pero se beneficiará el servicio de posventa de la homologación presentada en la Tabla 2 y en la Figura 9.

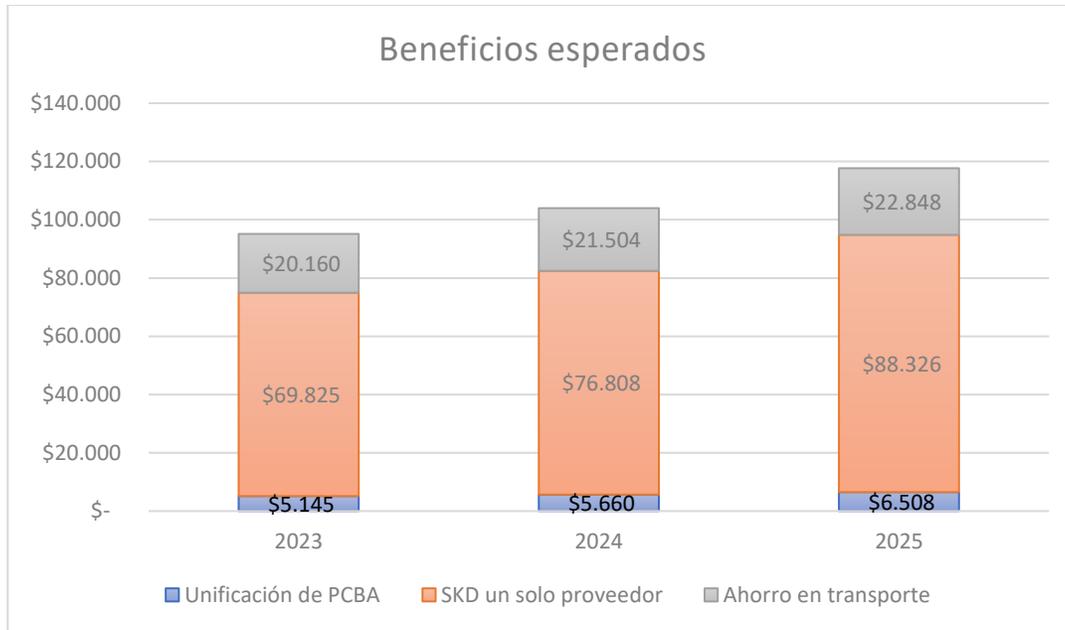


Figura 9 Beneficios esperados. Elaboración propia

Otro de los parámetros de ahorro que se ha considerado es la disminución del almacenaje y el transporte de las partes desde china, todas las partes serán trasladadas en conjunto y no se tendrá que separar las partes homologadas por modelo, lo cual a priori generará un ahorro de 20 mil dólares para el primer año de implantación del sistema.

Como parte de la implementación se ha planteado definir un indicador para las inversiones y otro para los beneficios esperados, los mismos se calcularán anualmente con un rango de optimo del 95%. Se utiliza un indicador del tipo beneficio-costos, el cual genera un comparativo de los ingresos y costos a valor actualizado, esto buscando alcanzar un resultado que determine la inversión y obtener mejores resultados durante esta. La propuesta se proyecta desde el año 2023 hasta el año 2025 según estimaciones realizadas.

**Tabla 2**

*Beneficios esperados*

Beneficios esperados/año	2023	2024	2025
<b>Unificación de PCBA</b>	\$ 5,145	\$ 5,660	\$ 6,508
<b>SKD un solo proveedor</b>	\$ 69,825	\$ 76,808	\$ 88,326
<b>Buque, almacenaje y aduana</b>	\$ 20,160	\$ 21,504	\$ 22,848
<b>Total:</b>	<b>\$ 95,130</b>	<b>\$ 103,971</b>	<b>\$ 117,683</b>

## 5. Conclusiones

La generación de un plan de acción para la implementación de un sistema de economía circular para la empresa de ensamblaje electrónico se ha orientado independientemente a la administración y al proceso de producción, relacionándolas para la toma de decisiones estratégicas, sin que se perjudique la optimización de recursos humanos y tecnológicos de forma autónoma. Como factor diferenciador, se concluye que es imperante el cambio del paradigma organizacional y de a poco guiarlo hacia las bases de la economía circular con el desarrollo y posterior fortalecimiento de una cultura organizacional sustentada en un método de comunicación efectivo y un modelo de capacitación orientado a reafirmar las bases de la Economía Circular. Los factores de diseño de producto serán manejados desde el nuevo departamento de diseño industrial, que será dotado de recursos humanos y técnicos: instrumental, computadoras, impresoras 3D y tecnología necesaria para el desarrollo de prototipos y generación de tecnología, generando una relación de simbiosis directa e implícita con el departamento de importaciones, la principal orientación será homologar las tarjetas T-CON, CHICOFF, botoneras, carcasas posteriores y demás partes compartidas entre modelos con el fin de consolidar las partes y piezas de los equipos enviados desde el proveedor internacional, con la aclaración de un mínimo impacto económico, para un cambio sustancial a nivel de servicio al cliente, otro de los aspectos principales de cambio el que afecta directamente a la reestructuración de los procesos productivos de la planta, Seteo de líneas de producción tiempos de curado y demás en el proceso de implementación del sistema de EC, será incluir el estaño libre de plomo en la PCB, el horno de reflujo, horno de ola, el retoque de tarjetas, la impresora de pasta y los parámetros de control de calidad (pruebas de estrés) tendrán que cambiar sus parámetros de aplicación, tiempo y curvas de temperatura. Se ha planteado un diagrama de economía circular para la empresa, con el desglose de cada uno de los procesos inmiscuidos en este ciclo e interrelacionados entre sí, garantizando la implementación deseada, siempre enfocados en el fin de optimizar los recursos adquiridos para producir un equipo lo más amigable con la naturaleza que sea posible producir, certificando una rentabilidad óptima para los accionistas. Los residuos generados en el proceso productivo serán gestionados mediante una alianza estratégica con una empresa de tratamiento de residuos electrónicos y eléctricos del medio dedicada a manipular de manera amigable con el ambiente dichos residuos peligroso, esta empresa tiene lazos

con el grupo corporativo desde hace 10 años y se encuentra prestando el servicio a la empresa desde 2021.

La implementación del plan de acción se ha establecido para el periodo bianual 2022-2024 en cuanto a la inversión. Los resultados económicos generados, según las estimaciones realizadas, se presentarán a partir del año 2023. Para garantizar el proceso de implementación se ha planteado el uso de dos indicadores de gestión tanto para las inversiones como para los beneficios esperados, los cuales se mantendrán activos durante todo el tiempo de ejecución del plan de acción.

## **Bibliografía**

- Ako, T., Onoduku, U., Oke, S., Adamu, I., Ali, S., Mamodu, A., & Ibrahim, A. (2014). Environmental impact of artisanal gold mining in Luku, Minna, Niger state, North Central Nigeria. *Journal of Geosciences and Geomatics*, 2(1), 28-37.
- Arguedas, D. (25 de Diciembre de 2018). *Por qué tu celular es (literalmente) una mina de oro*. Obtenido de BBC NEWS: <https://www.bbc.com/mundo/noticias-46504224>
- Ayala, S., & Sanabria, F. (2018). Aprovechamiento de recursos renovables en la obtención de nuevos materiales. *Ingenierías USBMed*, 69-74.
- Azcona-Cruz, M., Ramírez, R., & Vicente-Flores, G. (2015). Efectos tóxicos del plomo. *Revista de especialidades médico-quirúrgicas*, 20(1), 72-77.
- Balboa, C., & Somonte, M. (2014). Economía circular como marco para el ecodiseño: el modelo ECO-3. *Informador técnico*, 78(1), 82-90.
- Barbour, A. K. (1994). *Mining and its environmental impact*. Manchester: Royal Society of Chemistry, Vol. 1.
- Barros, J. (Noviembre de 2016). *Valorización de residuos sólidos en la obtención de un aditivo para combustibles fósiles mediante pirólisis*. Obtenido de Repositorio Institucional de la Universidad Politécnica Salesiana: <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/13128>
- Baturone, A. (2005). *Robótica: manipuladores y robots móviles*. Marcombo.
- BOE. (28 de julio de 2011). *de residuos y suelos contaminados*. <https://www.boe.es/eli/es/l/2011/07/28/22/con>: Jefatura del Estado.
- Cerdá, E., & Khaliova, A. (2016). *Economía circular*. Madrid: Economía industrial.
- De la Torre, E., Guevara, A., & Espinoza, S. (2009). Los teléfonos celulares una nueva mina de metales preciosos, factible de valorizar mediante tostación y lixiviación con cianuro. *En: Revista Politécnica, Quito: EPN*, (no. 30, (1)): pp. 21–28.
- Diepstraten, G. (2014). *Reliable Soldering For High And Mixed Volume Selective Soldering Processes*. Proceedings of SMTA International.
- Directiva 75/442/CEE del Consejo. (15 de julio de 1975). *Relativa a los residuos*. Bruselas: Edición especial en español: Capítulo 15 Tomo 1 p. 0129.
- Frérot, A. (2014). *Economía circular y eficacia en el uso de los recursos: un motor de crecimiento económico para Europa*. Boletín Cuestión de Europa, 331(10).

- Gaioli, M., Amoedo, D., & González, D. (2012). Impacto del mercurio sobre la salud humana y el ambiente. *Archivos argentinos de pediatría*, 110(3), 259-264.
- Hiatt, V., & Huff, J. (2007). The environmental impact of cadmium: an overview. *International Journal of Environmental Studies*, 7(4), 277-285.
- Hsu, C., & Hu, A. (2008). Green supply chain management in the electronic industry. *International Journal of Environmental Science & Technology*, 5(2), 205-216.
- Jimenez Ballesta, R. (2017). *Introducción a la contaminación de suelos*. . Mundi-Prensa Libros.
- Jin, G., Li, W., Wang, S., & Gao, S. (2017). A systematic selective disassembly approach for waste electrical and electronic equipment with case study on liquid crystal display televisions. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture*, 231(13), 2261-2278.
- Lacy, P., & Rutqvist, J. (2016). *Waste to wealth: The circular economy advantage*. Springer.
- Llanos Satama, D., & Ilbay, V. (2019). Desarrollo de un sistema teleoperado para la manipulación de un prototipo de brazo robótico basado en el aprendizaje por demostración, para la automatización de procesos de apilamiento en la industria de hormigón. *Bachelor's thesis, Universidad Nacional de Chimborazo*, 12-16.
- Lotero, L. (2018). The management of the quality of the projects under the perspective of the Circular Economy. *Revista Cubana de Ciencias Informáticas*, 50-62.
- Molina, M., & Zaldumbide, D. (2020). Circular economy as an economic model in the context of the city of Manta, Manabí, Ecuador. *Digital Publisher*, 119-121.
- Naciones Unidas. (2015). Objetivo 12: Garantizar modalidades de consumo y producción. *Objetivos de Desarrollo Sostenible*. Recuperado a partir de <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/sustainable-consumption-production/>.
- Northey, S., Haque, N., & Mudd, G. (2013). Using sustainability reporting to assess the environmental footprint of copper mining. *Journal of Cleaner Production*, 40, 118-128.
- ONU. (2015). *Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development*. New York, NY, USA.
- Ordoñez, S., Bouchain, R., Munguía, A., Vázquez, O., & Chávez, D. (2017). *EL COMERCIO MUNDIAL DE PRODUCTOS ELECTRÓNICOS Y ELÉCTRICOS, 2000 - 2014. Una aproximación estadística*. Coyoacán: Departamento de Ediciones del Instituto de Investigaciones Económicas de la UNAM.
- Ouboter, P., Landburg, G, Quik, J., Mol, J., & van der Lugt, F. (2012). Mercury levels in pristine and gold mining impacted aquatic ecosystems of Suriname. *South America. Ambio*, 41(8), 873-882.
- Paredes, J., & Ramirez, J. (2017). Energías renovables variables y su contribución a la seguridad energética: Complementariedad en Colombia. *BID Banco Interamericano de Desarrollo*, 10-15.
- Pearce, D., & Turner, R. (1990). *Economics of natural resources and the environment*. . London: Harvester Wheatsheaf.
- Porcelli, M., & Martínez, A. N. (2018). Análisis legislativo del paradigma de la economía circular. *Revista Derecho GV*, vol 14. 1067-1105.
- Ramírez, J. (2008). Recuperación de oro a partir de chatarra electrónica. *UAEH Biblioteca Digital*, Tesis de Licenciatura.

- Sandoval, V., Jaca, C., & Ormazabal, M. (2017). Economía circular. *Memoria Investigaciones en Ingeniería*, (15), 85-95.
- Scalzo, M., & O'Neil, T. (2011). *Down Selecting Low Solids Fluxes for Pb-Free Selective Soldering*. Proceedings of IPC APEX Expo.
- United Nations. (2015). Conference of the Parties. *ADOPTION OF THE PARIS AGREEMENT* (pág. 29). Paris: Framework Convention on Climate Change.
- United Nations. (2018). *INFORME DE ACTIVIDADES DE LA COMISIÓN*. Santiago de Chile: Naciones Unidas.
- United Nations E-waste Coalition. (January 2019). *A New Circular Vision for Electronics*. Switzerland: World Economic Forum.
- Usón, A., Usón, J., & Bribián, I. (2010). *Ecodiseño y análisis de ciclo de vida (Vol. 178)*. Zaragoza: Universidad de Zaragoza.
- Zhang, X., Yang, L., Li, Y., Li, H., Wang, W., & Ye, B. (2012). Impacts of lead/zinc mining and smelting on the environment and human health in China. *Environmental monitoring and assessment*, 184(4), 2261-2273.