



**ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL**

**Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la  
Producción**

**“Uso de la Metodología de Evaluación Ambiental de Ciclo de  
Vida en Productos con Aplicación a Baterías de Ion Litio para  
teléfonos móviles.”**

**EXAMEN COMPLEXIVO**

**Previo a la obtención del Título de:**

**INGENIERA MECÁNICA**

**Presentado por:**

**Ana Isabel Lynch Navarro**

**GUAYAQUIL –ECUADOR**

**AÑO: 2014**

## AGRADECIMIENTO

A todos quienes aportaron en la elaboración y culminación de esta propuesta de examen. Agradezco a mi familia por ser paciente conmigo todos estos años de estudio y trabajo. Agradezco con mucha estima al Ing. Jorge Duque, profesor tutor, por su ayuda académica.

## DEDICATORIA

A MI FAMILIA POR SU  
CONSTANTE APOYO.

A MIS HIJOS, MOTOR  
DE MI VIDA.

## TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN




---

Ing. Jorge Duque R.  
DECANO DE LA FIMCP  
PRESIDENTE



---

Ing. Jorge Duque R.  
DIRECTOR DEL TFG



---

Dr. Ángel Ramírez M., PHD  
VOCAL

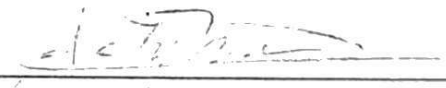
## DECLARACIÓN EXPRESA



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL  
E. S. P. L. C. F.

"La responsabilidad del contenido desarrollado en el presente Trabajo Final de Graduación me corresponde exclusivamente; y el patrimonio intelectual del mismo a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL"

(Reglamento de Graduación de la ESPOL)

  
\_\_\_\_\_  
Ana Isabel Lynch Navarro

## RESUMEN

La siguiente propuesta de examen complejo consistió en realizar una Evaluación Ambiental de Ciclo de Vida aplicada a un producto. El producto seleccionado fue una batería de celular, moderna, la cual era del tipo ion-Litio. La metodología que se usó permitió modelar, identificar y evaluar cada una de las etapas de vida de la batería. Así con esta técnica, en este estudio se pudo identificar cual de todas las etapas tuvieron la mayor carga ambiental sobre el medio ambiente, y también sobre la región.

Este trabajo permitió también observar las ventajas del uso de esta metodología como herramienta en la gestión ambiental de productos y servicios. Adicionalmente, en este trabajo se pudo realizar una comparación entre perspectivas de análisis de carga ambientales. En este trabajo se utilizaron dos métodos de evaluación de inventario de flujos ambientales, las cuales fueron el Eco indicador 99 y el CML baseline 2000. Tras la recolección de datos, estos fueron analizados con el uso del software SIMAPRO v.7 que permitió generar el inventario de flujo y su posterior evaluación de cargas ambientales.

Este trabajo tuvo algunas limitaciones en cuanto al uso de base de datos viables para generación del inventario de flujos del producto. Sin embargo, se tuvo la ventaja de constar como base datos para el consumo eléctrico, una

base de datos ecuatoriana. Finalmente, este trabajo encontró que dentro del ciclo de vida de una batería ion-Litio, la etapa de vida que genera una mayor carga ambiental es el uso de la misma. Esto se debe a que al usar la batería, existe un consumo eléctrico el cual por su origen contribuye a mayores impactos ambientales en comparación con otras etapas de vida del producto.

## ÍNDICE GENERAL

	Pág.
RESUMEN.....	ii
ÍNDICE GENERAL.....	iv
ÍNDICE DE FIGURAS.....	ix
ÍNDICE DE TABLAS.....	xi
INTRODUCCIÓN.....	1
<b>CAPÍTULO 1</b>	
<b>1. INTRODUCCIÓN A LA METODOLOGIA DE LA EVALUACIÓN</b>	
<b>DE CICLO DE VIDA.....</b>	
<b>1.1. ¿En qué consiste una Evaluación de Ciclo de Vida?.....</b>	<b>3</b>
<b>1.2. Reglamentaciones locales y las Normas ISO.....</b>	<b>8</b>
<b>1.3. Limitaciones de la metodología de la Evaluación de Ciclo de</b>	
<b>Vida.....</b>	<b>11</b>
<b>1.4. Ventajas de llevar a cabo una Evaluación de Ciclo de Vida</b>	
<b>1.5. Fases en una Evaluación de Ciclo de Vida.....</b>	<b>12</b>
1.5.1. Definición del objetivo y el alcance.....	15
1.5.2. Análisis del inventario de ciclo de vida.....	18
1.5.3. Evaluación del impacto ambiental.....	21
1.5.4. Interpretación de la evaluación del impacto.....	23

## CAPÍTULO 2

2. INTRODUCCIÓN A LAS BATERÍAS ION LITIO.....	25
2.1. ¿Qué es una batería Ion Litio y para qué sirve?.....	25
2.2. Ventajas de una batería Ion Litio sobre otras baterías.....	26
2.3. Funcionamiento de una batería.....	29
2.4. Funcionamiento de una batería Ion Litio.....	31
2.5. Selección de tipo de batería Ion Litio.....	33
2.6. Características de la batería Ion Litio con cátodo de óxido de litio-manganeso.....	34

## CAPÍTULO 3

3. CICLO DE VIDA DE UNA BATERÍA ION LITIO.....	37
3.1. Descripción del proceso de producción de una batería Li-ion cátodo de óxido litio-manganeso.....	37
3.2. Descripción del transporte y almacenamiento de una batería Li-ion.....	41
3.3. Disposición final de una batería Li-ion.....	42

## CAPÍTULO 4

4. EVALUACIÓN DE CICLO DE VIDA PARA UNA BATERÍA LI-ION.....	47
4.1. Definición del Objetivo y Alcance del Estudio	
4.1.1. Objetivo del Estudio.....	47
4.1.2. Alcance del Estudio	

4.1.2.1. Función, Unidad Funcional y Flujo de Referencia.....	48
4.1.3. Límites del Sistema de Producto.....	49
4.1.4. Categorías de Datos y Requisitos de calidad de datos omitiéndose flujo de bienes de capital.....	52
4.2. Análisis del Inventario del Ciclo de Vida.....	53
4.3. Cuantificación de Cantidad de Proceso.....	54
4.3.1. Cantidad de materiales en celda-pack.....	54
4.3.2. Cantidad de datos de los procesos de montaje de superficie y consumo eléctrico por uso de la batería.....	55
4.3.3. Cantidad de datos de transporte.....	57
4.3.4. Escenario de residuo.....	58
4.4. Evaluación de Impacto Ambiental	
4.4.1. Selección de los Métodos de Evaluación.....	59
4.4.1.1. Eco-indicador 99.....	60
4.4.1.2. CML 2 Baseline 2000.....	63
4.4.2. Resultados de Evaluación de Impacto ambiental bajo el Eco-indicador 99.....	67
4.4.2.1. Caracterización.....	68
4.4.2.2. Evaluación de Daños.....	68
4.4.2.3. Normalización.....	69
4.4.2.4. Ponderación.....	72

4.4.2.5. Puntuación única.....	72
4.4.3. Resultados de Evaluación de Impacto ambiental bajo el método CML 2 baseline 2000.....	73
4.4.3.1. Caracterización.....	74
4.4.3.2. Normalización.....	75
<b>CAPÍTULO 5</b>	
5. ANALISIS E INTERPRETACIÓN DE LA EVALUACION DE IMPACTO AMBIENTAL.....	77
5.1. Limitaciones presentadas en el Análisis de Ciclo de Vida.....	77
5.2. Chequeo de sensibilidad por incertidumbre sobre las limitaciones en los datos.....	79
5.3. Análisis de los aspectos significativos e interpretación de los Resultados de Evaluación de Impacto ambiental bajo el Eco- indicador 99.....	83
5.4. Análisis de los aspectos significativos e interpretación de los Resultados de Evaluación de Impacto Ambiental bajo el CML baseline 2000.....	91
<b>CAPÍTULO 6</b>	
6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	98
6.1. Conclusiones.....	98
6.2. Recomendaciones.....	100

APÉNDICES.....	102
BIBLIOGRAFÍA.....	107

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1:	Etapas del ciclo de vida de un sistema de producto	5
Figura 1.2:	Estructura de la Evaluación del Ciclo de Vida	14
Figura 1.3:	Elementos que participan en la fase de interpretación y sus relaciones con las otras fases	23
Figura 2.1:	Capacidad de descarga de una batería a partir del voltaje de celda	28
Figura 2.2:	Bosquejo de la descarga de una batería Li-ion	32
Figura 2.3:	Bosquejo de la carga de una batería Li-ion	33
Figura 2.4:	Especificaciones Técnicas de la batería seleccionada	35
Figura 4.1:	Límites del Sistema	50
Figura 4.2:	Flujo de los procesos para la producción de una batería ion-litio	51
Figura 4.3:	Contribución de cada etapa de Ciclo de Vida para cada categoría de impacto (Ecoindicador 99)	71
Figura 4.4:	Distribución de daños ambientales por cada etapa de Ciclo de Vida (Ecoindicador 99)	71
Figura 4.5:	Contribución de cada etapa de Ciclo de Vida para cada categoría de impacto (CML)	76
Figura 5.1:	Comparación de los Escenarios de Residuo para la batería ion litio	82

Figura 5.2:	Gráfico de cargas ambientales en la región producidas por la batería ion litio	85
Figura 5.3:	Contribución de impacto ambiental en cada etapa de Ciclo de Vida en la región para la batería ion litio (Ecoindicador 99)	87
Figura 5.4:	Contribución de impactos ambientales en la etapa de transporte de recolección de basura	88
Figura 5.5:	Contribución de impactos ambientales en la etapa de disposición final de la batería	89
Figura 5.6:	Gráfico de carga de impactos ambientales del Ciclo de Vida de la batería (CML)	90
Figura 5.7:	Gráfico de carga de impactos ambientales del Ciclo de Vida de la batería (CML)	92
Figura 5.8:	Contribución de impactos ambientales por el uso de la batería (CML)	94
Figura 5.9:	Contribución de impactos ambientales en la disposición final de la batería (CML)	95

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1:	Porcentaje de componentes materiales de la batería	36
Tabla 2:	Composición de la batería estudiada	55
Tabla 3:	Normalización de cantidades en Ecoindicador 99	63
Tabla 4:	Normalización de cantidades en CML2 baseline 2000	67
Tabla 5:	Evaluación de daños ambientales del Ciclo de Vida de la batería	69
Tabla 6:	Normalización de daños ambientales del Ciclo de Vida de la batería	70
Tabla 7:	Ponderación de daños ambientales del Ciclo de Vida de la batería	72
Tabla 8:	Porcentaje de carga ambiental para etapa del ciclo de vida de la batería (Ecoindicador 99)	73
Tabla 9:	Porcentaje de carga ambiental por etapa del ciclo de vida de la batería (CML)	76
Tabla 10:	Descripción de escenarios de residuo	80
Tabla 11:	Impactos ambientales de las etapas del ciclo de vida de la batería en la región (Ecoindicador 99)	84
Tabla 12:	Impactos ambientales de las etapas del ciclo de vida de la batería en la región (CML)	93

# INTRODUCCIÓN

El desarrollo del presente trabajo pretende a través del desarrollo de un ECV presentar una comparación entre las distintas etapas de vida de una batería ion-litio usada en teléfonos móviles. Específicamente el trabajo abarca lo siguiente.

A lo largo del capítulo 1 el lector podrá conocer sobre la metodología de Evaluación de Ciclo de Vida para productos, en qué consiste y sobre qué normas está basada.

En el capítulo 2 se podrá conocer el producto analizado: una batería ion Litio. Se da especificaciones sobre las baterías ion litio, en qué está compuesta y cómo funcionan. En este mismo capítulo se explica la selección de la batería a estudiarse dentro del ECV.

En el capítulo 3 se especifica las distintas etapas de vida de una batería ion litio como la seleccionada en el capítulo anterior. Se otorga información sobre las etapas de manufactura, empaquetamiento, transporte, uso y disposición final. Se especifica también el marco legal regional en que se desenvuelve cada etapa.

En el capítulo 4 se describen la aplicación de los pasos de la metodología de ECV a la batería seleccionada. Para ello se presenta el objetivo y alcance del estudio, al igual que el alcance donde se detalla los datos y límites del sistema. En este mismo capítulo se presenta el resultado del inventario de los flujos de entrada y salidas de cada proceso del ciclo de vida del producto, resultados que son evaluados a través de métodos de evaluación ambiental.

Adicionalmente, el capítulo 5 presenta la interpretación de los resultados de la evaluación de impacto ambientales por proceso del ciclo de vida. En este capítulo también se realiza un análisis comparativo de los resultados de cada etapa de vida, con el fin de evaluar los resultados con los objetivos planteados inicialmente.

Finalmente, en el capítulo 6 se establecen las limitaciones encontradas en la realización del ECV, y se concluye sobre el análisis de los resultados.

# **CAPÍTULO 1**

## **1. INTRODUCCIÓN A LA METODOLOGIA DE LA EVALUACIÓN DE CICLO DE VIDA**

En el presente capítulo se denotara la metodología de la Evaluación de Ciclo de Vida en un sistema de producto (producto, servicio, proceso o actividad). Se manifestará de igual manera de que forma las normas ISO series 14000 tienen una correlación con la metodología a ser usada.

### **1.1. ¿En qué consiste una Evaluación de Ciclo de Vida?**

La Evaluación de Ciclo de Vida es una técnica utilizada en la gestión ambiental para la valoración y posterior análisis de los aspectos ambientales relacionados con el ciclo de vida de un sistema de producto (4). Existen un sinnúmero de aplicaciones en los cuales esta metodología de evaluación puede ser aplicada tales como el análisis de la contribución de impacto ambiental total de un producto durante todas las etapas de vida, para de esta

manera priorizar mejoramientos en el producto o los procesos implicados en su manufactura. De igual manera, dicha metodología es útil para poder asegurar que se realice una comparación casi imparcial de productos ya sea de manera interna o externa a la manufactura del mismo (37).

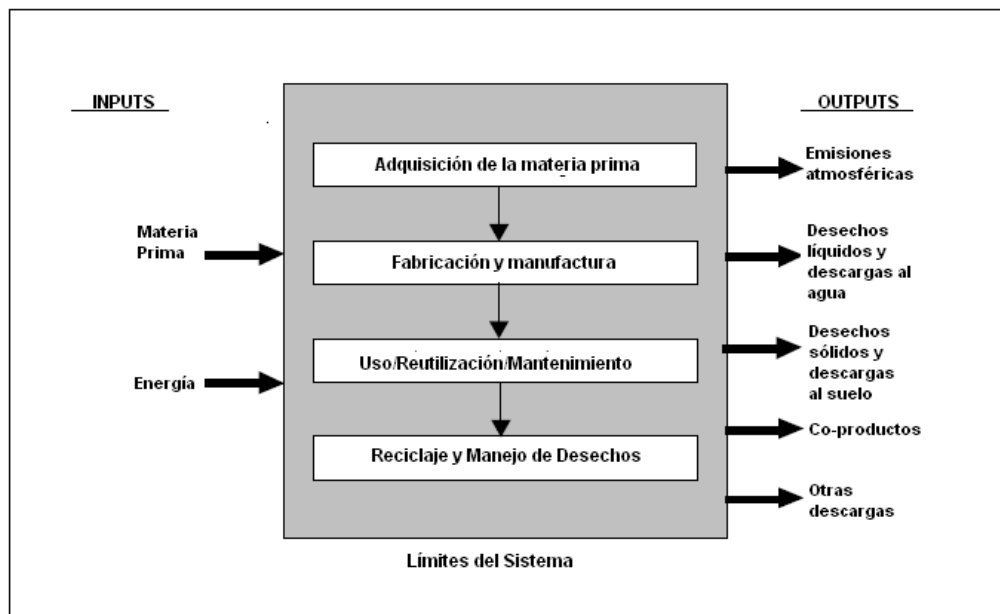
El uso de la metodología provee una base científica y cuantitativa para los conceptos de desarrollo sustentable y producción ecológicamente amigable. Una ECV puede otorgar una aptitud en la discusión de la manufactura de un producto a través de sus procesos. Lo que quiere decir que se da una facilidad en la comunicación activa del impacto ambiental de los productos y procesos de manufactura.

La técnica ECV sirve entonces para poder evaluar los aspectos ambientales y los impactos significativos debidos a un producto o servicio (3). Para dichos análisis se sigue un proceso conformado por:

- Un inventario de entradas/input y salidas/output (directas e indirectas) que se relacionen al sistema producto o servicio
- Una evaluación de los impactos significativos (positivos, negativos y neutrales) que se relacionen con a los inputs y outputs
- Interpretación de los resultados de las evaluaciones correspondientes al inventario de inputs y outputs.

La ECV evalúa los aspectos ambientales y los impactos significativos de un producto desde la cuna hasta la tumba (cradle-to-grave), es decir, desde la

adquisición de la materia prima hasta la disposición final del producto y sus repercusiones humanas y ecológicas por la misma. Por otro lado, se pueden realizar estudios parciales denominados “cradle-to-grave” o desde la cuna hasta la puerta (del usuario) en los cuales el estudio se enfoca desde la adquisición de la materia prima hasta la entrega del producto para su posterior uso, sea cual fuere el mismo. Estos estudios parciales se realizan con la finalidad única de validar la viabilidad de un producto ambientalmente y reconocer las cargas ambientales del mismo durante su producción. (4)



*FIGURA 1.1: ETAPAS DEL CICLO DE VIDA DE UN SISTEMA DE PRODUCTO (1)*

## **1.2. Reglamentaciones locales y las Normas ISO**

La Evaluación de Ciclo de Vida (ECV) de los productos en Latinoamérica, se originó a finales del siglo pasado, y pese a ser una técnica muy joven, en los últimos años dicha metodología ha ganado poco a poco un auge y aceptación en la aplicación de políticas de manejo ambiental, teniéndose como una de las herramientas claves en la evaluación de calidad total de un producto en ciertas empresas. Sin embargo si bien es cierto ciertas empresas han optado por la incorporación a sus departamentos ambientales la técnica de ECV, en el país, cuanto a leyes se refiere no existe ningún fomento por si decirlo ni regulación a seguir para el uso de dicha técnica. Por ejemplo, en el Ecuador está la Ley de Gestión Ambiental, que en cuyo capítulo II referente “De la evaluación de impacto ambiental y del control ambiental” hace hincapié en las regulaciones que cada empresa debe tomar para la elaboración de un Plan de Manejo Ambiental en relación con el Sistema Único de Manejo Ambiental para la prevención y control de la contaminación ambiental y uso, manejo, administración y disposición final de productos o servicios en general con el desarrollo sustentable (17). No obstante, dichas reglamentaciones lamentablemente no especifican la elaboración de estudios de ciclo de vida en productos ni mucho menos la evaluación de los mismos para de esta manera asegurar que la calidad ambiental de un producto esté relacionada específicamente con todas las etapas de vida del mismo. Considerando que la técnica ECV constituye una herramienta beneficiosa a manera de un filtro de

impactos ambientales negativos, es elemental que se empiece a utilizar en muchas más empresas.

Por otro lado, en cuanto a lo que se refiere a las acreditaciones de calidad, tales como aquellas por parte del buro internacional de estandarización ISO, las normas que específicamente conciernen a la gestión ambiental, son las normas ISO 14000. Tales normas en su efecto se dividen en evaluación de la organización y en evaluación de productos. Las normas de ECV pertenecen al grupo de evaluación de productos y servicios normalizada bajo la serie ISO 14040. La norma ISO 14040 provee los principios, la estructura y un poco de la metodología necesaria para realizar un ECV. (21)

Las normas complementarias que se listan a continuación son las más utilizadas ya que proveen detalles adicionales respecto a la metodología específica con las diversas fases de un ECV:

- ISO 14041. Environmental management- Life cycle assessment- Goal and scope definition and life cycle inventory analysis (Definición del Objetivo y Alcance, y Análisis de Inventario)
- ISO 14042. Environmental management - Life cycle assessment- Life cycle impact assessment (Evaluación de Impacto de Ciclo de Vida)
- ISO 14043. Environmental management - Life cycle assessment- Life cycle interpretation (Interpretación de Ciclo de Vida)

Y más recientemente la actualización de normas a través de:

- ISO 14040:2006. Environmental management- Life Cycle assessment: Principle and Framework (Principios y Marco de Referencia para ECV).
- ISO 14044:2006. Environmental management –Life Cycle assessment- Requirements (Requisitos y directrices).

### **1.3. Limitaciones de la metodología de la Evaluación de Ciclo de Vida**

La elaboración detallada de un ECV depende tanto del tema como del uso que se tiene previsto para dicho estudio. Esta técnica al ser usada para la gestión ambiental puede no ser la más viable para ciertas situaciones, por lo que se debe tomar en cuenta qué aspectos y objetivos se quieren considerar en base a un sistema de producto (o servicio). Un ECV puede diferir de otro considerablemente dependiendo del objetivo particular de cada uno. Por lo tanto, si fuere el caso de realizar un ECV total o parcial, se deberá seguir la estructura establecida en la norma ISO 14040 para cada ECV, aun pese a que en su culminación no fuere similar a otro.

Si bien es cierto, la metodología del ECV es bastante útil, ésta presenta ciertas limitaciones tal como que no en todos los casos es aplicable. A continuación se lista limitaciones adicionales (37):

- El ECV considera los aspectos ambientales y no los económicos o sociales de un producto.
- Durante la selección del inventario de un ECV pudieran fijarse suposiciones de naturaleza subjetivas.
- Debido a que los modelos utilizados para evaluar el inventario y los impactos ambientales estarían limitados por supuestos, pudieren no fijarse abiertamente para todos los impactos significativos (directos e indirectos) posibles.
- Los resultados de un ECV enfocados en temas o condiciones globales pueden no representar condiciones regionales y locales ni ser apropiados a aplicaciones locales. A esto se suma que un ECV no proporciona un marco de estudio completo para evaluación local de riesgos, lo cual se debería esperar durante el funcionamiento de una instalación en una localidad específica.
- La calidad de datos utilizados en las distintas etapas de un ECV pudieren afectar la exactitud del mismo, ya sea debido a bases de datos obsoletas, incomparables, o de dudosa calidad, o que dichas bases de datos están conformadas en bloques de datos para procesos combinados mas no para estudios individuales de los procesos en la elaboración de un producto.
- El ECV es una técnica que no debe reemplazar el proceso de la toma de decisiones sino una técnica aplicable para el análisis de

la misma, no sirve para probar una decisión que se deba tomar sino para basar que decisión es más viable.

- Un ECV es un modelo lineal y de estado estable, no debe considerarse durante el estudio un estado dinámico o transitorio, no involucra mecanismos de mercado ni efectos secundarios para el estudio.

Es importante tomar en cuenta que lo provisto tras un estudio de ECV sirve como pie en el proceso de la toma de decisiones, mas no es una única herramienta a considerarse para la gestión ambiental, toda limitación pertinente con el ECV pueden ser reducidas por medio de otras herramientas de evaluación tales como Evaluación de Riesgo, Análisis de Flujo de Materiales, Análisis de Flujo de Substancia, Costeo del Ciclo de Vida. Esto quiere decir que la técnica del ECV debe ser complementada con un sistema de técnicas y estudios debidamente organizados para así desarrollar una metodología que considere todos los aspectos de sustentabilidad en la evaluación de todo sistema de producto o servicio (10).

#### **1.4. Ventajas de llevar a cabo una Evaluación de Ciclo de Vida**

Una Evaluación de Ciclo de Vida de un sistema producto puede aportar con criterios en la toma de decisiones en el momento de seleccionar un producto o proceso que resulte en menor impacto al medio ambiente. Adicionalmente, la información adquirida puede ser usada con otros factores, tales como la

obtención de datos de costo y rendimiento para dicha selección. Los datos de la ECV identifican la transferencia de los impactos ambientales de un medio a otro (por ejemplo, la eliminación de emisiones a la atmósfera mediante la creación de un efluente de aguas residuales en un lugar) y / o de una etapa del ciclo de vida a otra (por ejemplo, del uso y reutilización de un producto hasta la fase de adquisición de materia prima). Sin la realización de una ECV dicha transferencia no podría ser reconocida y debidamente incluida en el análisis porque está fuera del típico alcance y enfoque dados en comunes procesos de selección de productos.

El aporte otorgado por un ECV en la capacidad de indagar y documentar cambios en los impactos ambientales representa el poder caracterizar las ventajas y desventajas asociadas con las alternativas del sistema producto para el medio ambiente. Mediante la realización de una ECV, se puede:

- Desarrollar una evaluación sistemática de las consecuencias ambientales asociadas a un sistema producto determinado.
- Analizar las ventajas y desventajas ambientales asociadas a uno o más procesos específicos para ayudar a las partes interesadas a planificar una posterior acción (solución).
- Cuantificar emisiones y descargas al medio ambiente (aire, agua y suelo) en cada una de las etapas y procesos del ciclo de vida de un sistema producto.

- Evaluar los efectos humanos y ecológicos de consumo de materiales y de las descargas al medio ambiente.
- Comparar los impactos entre dos o más sistemas de productos (contra la competencia) o identificar los impactos de un producto específico.
- Identificar los impactos hacia una o más regiones específicas del medio ambiente.

### **1.5. Fases en una Evaluación de Ciclo de Vida**

Una Evaluación de Ciclo de Vida consiste de 4 fases o etapas:

- Definición del objetivo y alcance del estudio.
- Realizar un modelo del sistema del producto (o servicio) con todos los flujos de entrada y de salida. Esta recolección de datos es denominada por el ISO 14040 y por el SETAC (Sociedad de Toxicología y Química Ambiental) como Análisis del Inventario de Ciclo de Vida.
- Reconocer la relevancia e importancia ambientales de los flujos de entrada y de salida, lo cual refiere la Evaluación de Impacto de Ciclo de Vida.
- La interpretación del estudio del ECV.

La técnica ECV se basa principalmente en la modelación. Por ejemplo, la fase del inventario, se realiza un modelo del sistema del producto lo que consiste en el complejo sistema técnico utilizado en la producción, el transporte, e

inclusive la disposición final del producto. Todas estas entradas y salidas resultan en un sistema o árbol de procesos en el cual se involucran todos los procesos relevantes.

Para cada proceso de producción, todos los flujos de entrada y salida son recolectados, éstos dan como resultado, usualmente, una lista larga de inputs y outputs difícil de interpretar, es por ello que para la fase de evaluación de impactos ambientales, se utiliza un modelo diferente que consiste en un modelo de mecanismo ambiental tal que cada impacto es categorizado de manera que pueda ser registrado como negativo, positivo o neutral, y cuan significativo pudiera ser. A continuación se puede observar un gráfico de las fases a seguir en un ECV de acuerdo con las normas ISO 14040.

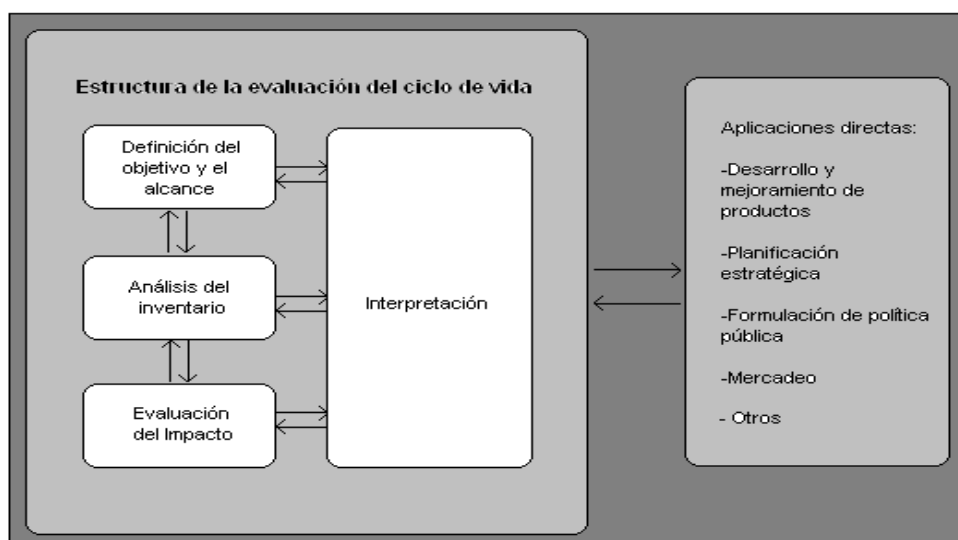


FIGURA 1.2: ESTRUCTURA DE LA EVALUACIÓN DEL CICLO DE VIDA

Es importante también indicar que si la ECV pudiera tratarse de un estudio comparativo, si fuese ese el caso, dicho ECV deberá ser sometida a una revisión crítica de acuerdo a lo requerido por la norma, siguiendo requisitos específicos tales como el que sea llevada a cabo por un experto independiente al estudio. Este proceso sirve para asegurar que la metodología seguida es válida y va de acuerdo con la norma, que se consta de datos correctos y coherentes con el estudio, que las limitaciones fijadas son claras y correctas, y que el objetivo trazado es adecuado y transparente.

#### **1.5.1. Definición del objetivo y el alcance**

Las normas ISO 14041:1998 definen en sus estatutos las pautas a seguir para la definición del objetivo y el alcance de una Evaluación de Ciclo de Vida para la Gestión Ambiental de un sistema de producto. Teniendo en cuenta las disposiciones respectivas de las normas nombradas, el objetivo y alcance a trazarse deben ser consistentes con la aplicación prevista para el estudio.

En un ECV, el primer paso es la definición del objetivo para el cual se debe afirmar y justificar con claridad que aplicación se le quiere dar al estudio y los motivos de su realización. En este se debe tener en cuenta que deberá explicar el objetivo (meta u objetivo) del estudio y especificar el uso previsto de los resultados (aplicación), el iniciador

(y responsable) del estudio, el profesional, las partes interesadas y los usuarios previstos de los resultados del estudio (la audiencia a la que se le va a presentar los resultados del mismo).

Por el otro lado, en cuanto lo que se refiere al paso de la definición del alcance, éste establece las principales características del estudio de ECV, que abarca temas como la cobertura temporal, geográfica y la tecnología, el modo de análisis utilizado y el nivel general de complejidad del estudio. Adicionalmente para éste deberá considerarse los siguientes puntos:

- las funciones del sistema de producto
- la unidad funcional;
- el sistema que se va a estudiar;
- los límites del sistema del producto;
- los procedimientos de asignación;
- los tipos de impacto y la metodología de la evaluación del impacto;
- los requisitos de los datos;
- las suposiciones a considerar;
- las limitaciones;
- los requisitos de calidad de los datos iniciales;

Es necesario reconocer un poco la terminología usada en el listado anterior, en cuanto a los puntos necesarios durante esta fase del

ECV. Por ejemplo, la unidad funcional es un elemento clave del estudio a ser claramente definida, y consiste en una medida de la función del sistema estudiado que proporciona una referencia que relaciona los inputs y outputs entre sí. Esto permite la comparación de dos sistemas diferentes.

Adicionalmente, los límites del sistema son aquellos útiles para determinar qué procesos unitarios se incluirán en el ECV. La parte de definir los límites del sistema se trata de elección subjetiva. Existen los límites entre el sistema tecnológico y la naturaleza, los cuales se deben a que el ciclo de vida de un producto comenzaría durante la extracción de materia prima y el aporte de energía de la naturaleza y culminaría con la generación de residuos y producción de calor. Los límites geográficos se definen por una zona geográfica, ya que la geografía juega un rol importante para la elaboración del estudio, debido a que la infraestructura, producción de electricidad, gestión de residuos y sistemas de logística, varían dependiendo de la región. Por otra parte, la sensibilidad de los ecosistemas a los impactos ambientales depende de la región. Los límites deben establecerse no sólo en el espacio, sino también en el tiempo, debido a que los ECV se llevan a cabo para evaluar los efectos actuales y predecir escenarios futuros. Y por último se requiere definir los límites de ciclos de vida del actual y de los otros sistemas técnicos

relacionados. La mayoría de actividades están relacionadas entre sí, y por lo tanto deben ser aislados unos de otros para su estudio.

Por último, se debe reconocer que los requisitos de la calidad de datos que se cumplan implicaran en la fiabilidad de los resultados del ECV, por lo que se deben tener en cuenta la cobertura relacionada con el tiempo, la cobertura geográfica, la cobertura tecnológica, la precisión de los datos y si son completos y representativos, la coherencia y reproducibilidad de los métodos usados a lo largo del ECV; las fuentes de los datos y su representatividad; y la incertidumbre de la información.

Con todo esto, cabe recalcar que el alcance se debe definir suficientemente bien para tener seguridad de que la extensión, la profundidad y el detalle del estudio sean compatibles y suficientes con el objetivo estipulado. La ECV es una técnica iterativa. Por lo tanto, mientras el estudio se esté realizando, es posible que se necesite modificar su alcance a medida que se reúne información adicional. Es por ello que durante esta etapa del proceso se recomienda la elaboración dicho borrador del objetivo y alcance con el fin de una revisión crítica de las partes interesadas. En tal informe deberá justificarse todas las decisiones principales en lo que respecta las funciones, unidad funcional, alternativas y corrientes de

referencia, y las fases de análisis de inventario, la evaluación del impacto e interpretación.

### **1.5.2. Análisis del inventario de ciclo de vida**

De igual manera, en esta fase de la Evaluación de Ciclo de Vida las normas ISO 14041:1998 definen en sus estatutos las pautas a seguir para el Análisis de Inventario del Ciclo de Vida para la Gestión Ambiental de un sistema de producto. El análisis del inventario implica la recolección de datos y los procedimientos de cálculo para cuantificar los inputs y outputs aptos de un producto (20). Entre estos ingresos y egresos se puede distinguir tres tipos de flujos principales:

- Los flujos elementales que corresponden a componentes elementales, es decir, a lo extraído o emitido al ambiente tales como el uso de recursos y las descargas al aire, al agua y al suelo asociados con el sistema.
- Los flujos intermedios que corresponden a las unidades funcionales tales como de productos o energía.
- Los flujos de residuos que corresponden a un subtipo de flujo de productos, en los cuales se asienta la disposición de material de desecho.

Se puede de igual manera considerar a los ingresos y egresos como flujos primarios aquellos que provienen o se dirigen a la

naturaleza, y flujos de procesos que son entradas y salidas a la tecnosfera. Con base en estos datos se pueden hacer interpretaciones, dependiendo de los objetivos y el alcance de la ECV. Estos datos también establecen una entrada para la evaluación del impacto del ciclo de vida. Tomando en cuenta los tres tipos de flujo se puede deducir que durante la fase de inventario se realiza una recolección de datos de todas las etapas por las que pasare el producto, y para su efecto, los datos deben ser recogidos en formatos (formularios) óptimamente diseñados. (20)

Si bien es cierto que la tarea más exigente en un ECV es justamente la recopilación de datos, muchos datos se pueden encontrar disponibles en bases de datos internacionales al igual que en programas de computador creados precisamente para la realización de los ECV. Sin embargo, generalmente se encuentra que para ciertos procesos existen algunos datos no disponibles, o los datos disponibles no son representativos. Dependiendo de los límites establecidos en el alcance y el presupuesto que se tenga disponible, existe una serie de estrategias para reunir esos datos, entre ellos se debe definir dos tipos de fuente de datos:

- Los datos de primer plano que consiste en la información específica de proveedores/operarios.

- Los antecedentes que consisten en información de los materiales consumidos, cargas energéticas, etc. Utilización de bases de datos específicas.

En el modelado del sistema de producto ambas fuentes se deben vincular. Posterior a la recopilación de datos, estos deberán ser validados, y después se debe determinar la relación de los datos con los procesos unitarios y la unidad funcional. Por último si fuere necesario se deberá realizar un ajuste de los límites del sistema.

### **1.5.3. Evaluación del impacto ambiental**

La Evaluación de Impacto Ambiental del Ciclo de Vida de un producto se basa en la norma ISO 14042 que otorga los criterios para seguir una Evaluación de Impacto de Ciclo de Vida. En ésta fase del ECV es donde las entradas y salidas de los flujos elementales que se han recopiladas y reportadas en el inventario se traducen en indicadores de impacto para la salud humana, el medio ambiente, y agotamiento de recursos (22). Se trata de proceso que implica relacionar los datos del inventario con impactos ambientales específicos y tratar de entender esos impactos. Se debe tener en cuenta que la ECV y la evaluación de impacto ambiental analizan los impactos ambientales potenciales que pudieren ser causados por las intervenciones que cruzan la frontera entre la tecnosfera y la ecosfera, y que actúen sobre el entorno natural y los seres humanos. Los resultados de la Evaluación de Impacto de Ciclo de Vida deben considerarse como indicadores de impacto ambiental significativos, en lugar de predicciones de efectos reales en el medio ambiente.

La evaluación de impacto de ciclo de vida está compuesta de algunos pasos necesarios a seguir:

- Asignación de categoría de impacto a los datos de inventario (clasificación).

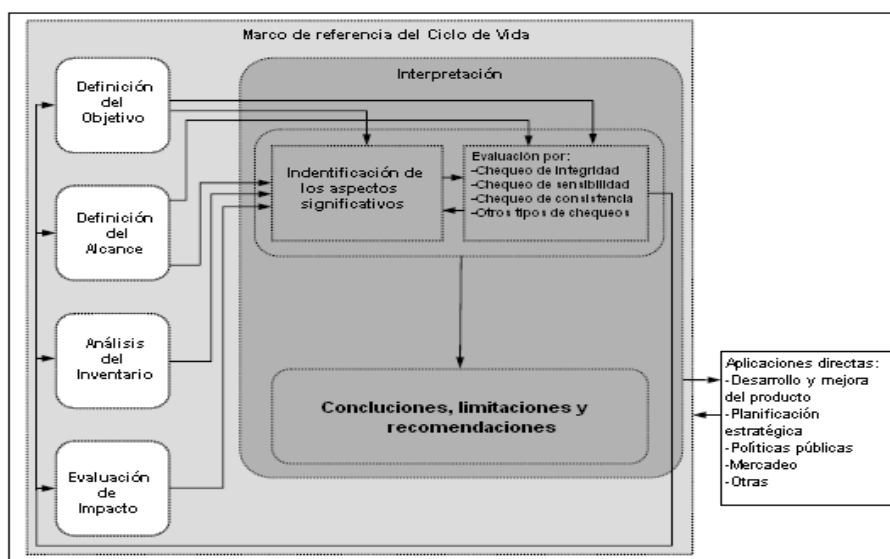
- Modelado de los datos de inventario dentro de las categorías de impacto (clasificación y caracterización)
- Agregación de los resultados en casos muy específicos y solamente cuando sean significativos (ponderación y valoración).

Los resultados se calculan multiplicando los datos del inventario individual de los resultados del inventario con los factores de caracterización dados a cada impacto. Posterior y opcionalmente, tales resultados se los pueden multiplicar por los factores de normalización que representan la totalidad del inventario. Luego opcionalmente, éstos resultados últimos pueden ser multiplicados por un conjunto de factores de ponderación, que indiquen la importancia y relevancia de las distintas categorías de impacto o de las áreas de protección. De esta manera la obtención de resultados normalizados y ponderados de la Evaluación de Impacto pueden resumirse a un solo valor indicador de impacto global. Con esto se puede tener en cuenta que una ponderación del conjunto implica una posterior necesidad de tomar decisiones de valor (22).

La estructura metodológica y científica para la Evaluación de Impacto de Ciclo de Vida se encuentra aún en desarrollo y los modelos para las categorías de impacto están en diferentes etapas de desarrollo. Ésta fase del ECV consiste de mucha subjetividad, como durante el modelado y evaluación por categorías, es por ello que es necesario

la transparencia de la evaluación del impacto para asegurar que los supuestos se describan con claridad informándose de cada uno de ellos.

#### 1.5.4. Interpretación de la evaluación del impacto



*FIGURA 1.3: ELEMENTOS QUE PARTICIPAN EN LA FASE DE INTERPRETACIÓN Y SUS RELACIONES CON LAS OTRAS FASES*

(21)

La fase de interpretación de un ECV tiene dos puntos importantes a considerar durante su realización:

- Durante los pasos iterativos de la ECV, la fase de interpretación sirve para orientar el trabajo hacia la mejora del ciclo de vida del modelo de inventario para así satisfacer las necesidades derivadas del objeto del estudio.

- Si los pasos iterativos de la ECV se han traducido en el modelo final del inventario y de los resultados, la fase de interpretación sirve para trazar conclusiones y recomendaciones.

Esto quiere decir que durante la fase de Interpretación, los resultados de la evaluación se valoran con el fin de responder a las preguntas planteadas en la definición de objetivos, y así ejercer un criterio claro y libre de prejuicios.

La interpretación de la evaluación de impacto de ciclo de vida de un sistema de producto se comprende de tres pasos:

- La identificación de los aspectos significativos basados en los resultados del Inventario y de la Evaluación de Impacto del ciclo de vida de un sistema de producto, es decir, los procesos clave, los parámetros, los supuestos y los flujos elementales.
- La evaluación de la factibilidad de los resultados, donde se ejerza un chequeo de integridad, consistencia, sensibilidad y/o incertidumbre de los datos.
- Planteamiento de conclusiones y recomendaciones.

Los resultados derivados en esta fase serán los resultados de la evaluación, y la descripción de las conclusiones y recomendaciones finales.

# CAPÍTULO 2

## 2. INTRODUCCIÓN A LAS BATERÍAS ION LITIO

Acorde con el problema y causa planteada, se definió la gestión de ECV para una batería de celular del tipo Ion-Litio. En el presente capítulo se explicará que es una batería ion Litio y en qué se diferencia con los otros tipos de batería, describiendo sus ventajas competitivas. Adicionalmente se detallará el funcionamiento de las baterías en general y posteriormente el funcionamiento de un batería Ion Litio.

### 2.1. ¿Qué es una batería Ion Litio y para qué sirve?

Una batería de ion Litio (Li-Ion) consiste en un dispositivo de almacenamiento de energía electroquímica que emplea como electrolito una sal de litio, en la cual se procura en los procesos de carga y descarga una reacción electroquímica reversible. Aunque existen baterías ion litio del tipo primario, es decir que se descartan, su mayoría no, por eso este tipo de batería pertenece

a la familia de baterías recargables. En éstas los iones litios se mueven desde el electrodo negativo (cátodo) al electrodo positivo (ánodo) durante la descarga, y viceversa para la carga. (30)

Las características químicas, el rendimiento, costo y seguridad varían entre distintos tipos de estas baterías. Por otro lado, la ligereza de los componentes, la elevada capacidad energética y resistencia a la descarga, la ausencia de efecto memoria y la capacidad para operar con un elevado número de ciclos de regeneración han conseguido abarcar terreno en la industria electrónica. Entre sus aplicaciones principales están los teléfonos móviles, tabletas, computadoras portátiles, cámaras, entre otros. Adicional a la industria electrónica, las baterías ion Litio está ganando un gran auge en los vehículos militares, eléctricos e híbridos, y de igual modo en aplicaciones aeroespaciales. No obstante, las baterías ion Litio tienen una gran sensibilidad a altas temperaturas sufriendo de una rápida degradación que pudiere causar incluso una explosión, y para su efecto es necesario dispositivos de control interno adicionales lo cual aumenta el costo superando un precio accesible que limita los uso a otras aplicaciones. (6)

## **2.2. Ventajas de una batería Ion Litio sobre otras baterías**

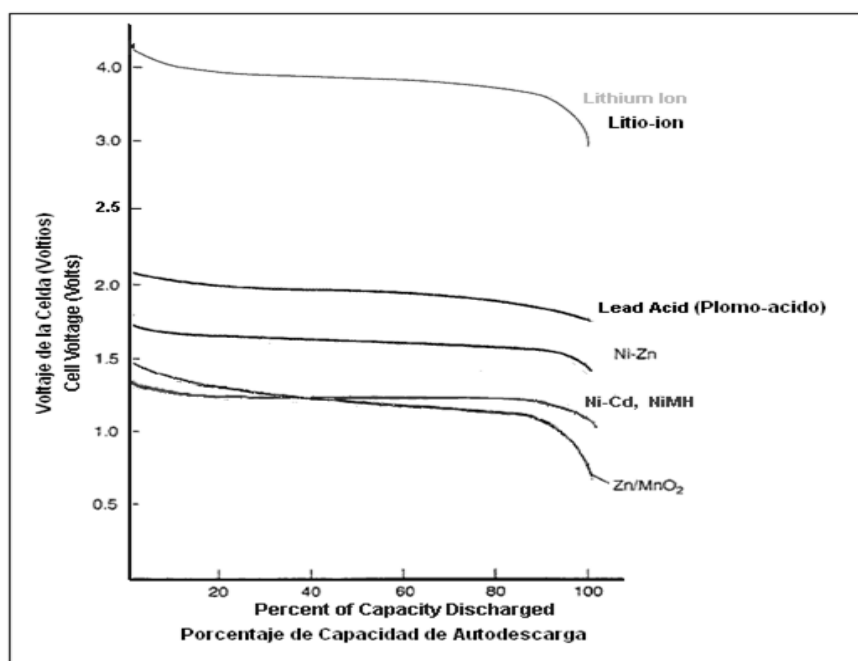
Como se explicó en el punto anterior, las baterías Ion Litio tienen un sinnúmero de aplicaciones en la electrónica y actualmente se sostiene como una alternativa para limitar el uso de combustibles fósiles en los vehículos. La

habilidad de operar de estas baterías supera en gran parte a las baterías de uso común tales como las alcalinas, plomo y otras, y e involucran el aumento de su uso en aparatos electrónicos modernos. Ciertas ventajas competitivas fueron mencionadas anteriormente pero se especifican mayormente a continuación:

- Son más livianas que otras baterías recargables del mismo tamaño. Esto se debe a que los electrodos de las batería ion lio están compuestos de litio y carbono de bajo peso. Debido a que el litio es un elemento altamente reactivo, puede almacenar una gran cantidad de energía en sus enlaces atómicos, lo cual significa alta densidad energética y energía específica por parte de las baterías ion litio. Respecto a esta energía específica una batería ion litio puede almacenar mucha mayor energía que una batería común. Por ejemplo, una batería de níquel e hidruro metálico (Ni-MH) puede mantener una carga entre 60 y 70 (en ciertas hasta 100) watts-hora por kilogramo. Una batería plomo-acido, puede almacenar entre 25 y 45 watts-hora por kilogramo. Por el otro lado, una batería de ion litio común puede mantener entre 150 y 250 watts-hora en tan sólo un kilogramo, lo que se traduce en casi el doble de carga mínima de una batería Ni-MH y 6 veces la carga de una batería plomo-ácido por kilogramo. (7)

- Las baterías ion litio poseen una auto-descarga (porcentaje de pérdida de la carga inicial total) entre el 2 al 5% de su carga por mes y 20% máximo anual, contra una auto-descarga del 20 al 30% por mes por parte de las baterías NiMH. En el gráfico de la figura 2.1 a continuación se puede observar que para los tipos más comunes de baterías existen distintas capacidades de auto-descarga mensual.

(7)



*FIGURA 2.1: CAPACIDAD DE DESCARGA DE UNA BATERÍA A PARTIR DEL VOLTAJE DE CELDA (38)*

- Las baterías ion Litio carecen del efecto memoria. Este efecto consiste en que la batería aparenta recordar el nivel de carga que ésta tenía al momento de empezar a recargar, lo que representa

que la siguiente vez de recargar, sólo se descargará hasta dicho nivel, disminuyendo obviamente su tiempo de uso. Esto significa que la batería ion litio no requiere ser descargada totalmente antes de la recarga como es el caso de otras baterías. Y este es el motivo también por el cual una batería ion litio puede soportar una cantidad superior de ciclos de carga y descarga. Las baterías ion Litio tienen entre un 80 a un 90% de eficiencia de carga en comparación con otras baterías que alcanzan sólo el 80% de eficiencia. (38)

### **2.3. Funcionamiento de una batería**

Si bien es cierto se pueden encontrar ventajas competitivas en las baterías Ion Litio sobre las pilas comunes, es importante entender cómo funcionan las baterías en general. Una batería es un dispositivo capaz de almacenar energía eléctrica y entregarla a través de una reacción electro-química fija de óxido-reducción. Una batería se compone generalmente de una celda o una serie de celdas que producen electricidad, dichas celdas poseen tres principales componentes que son el ánodo (polo positivo), el cátodo (polo negativo) y el electrolito (sal iónica o solución salina ionizable). El ánodo y el cátodo al estar conectados por un alambre a manera de conductor eléctrico, los electrones son capaces de fluir a través de este cable desde el ánodo (que se oxida) hasta el cátodo (que se reduce), creando una corriente eléctrica, mientras que el

electrolito conduce la corriente positiva en forma de iones positivos o cationes.

(30)

El proceso es sencillo y fijo, los ánodos y cátodos se hallan unidos por medio del electrolito, ya sea éste acuoso o sólido ionizable que conducirá la electricidad. Al estar ánodo y cátodo conectados por el alambre, el ánodo por acción del electrolito pasa por una reacción química en la cual crea cationes (iones positivos por pérdida de electrones) oxidándose. Por lo tanto en el cátodo los electrones y los cationes se encuentran haciendo que este electrodo se reduzca. Estas reacciones químicas de óxido reducción son continuas pero duran sólo un cierto tiempo. En algún momento, los electrodos se corroerán, siendo el material insuficiente no se podrá mantener la continuidad de las reacciones. Las características de una batería están determinadas por los materiales que se utilicen para cada uno de los componentes, dichas características incluyen la cantidad o capacidad total de energía que puede entregar y la tensión o la cantidad de energía por electrón. Los materiales selectos para el ánodo y cátodo son escogidos de modo que el ánodo pueda oxidarse y donar electrones, y el cátodo pueda reducirse y aceptarlos. Esta capacidad de oxidarse o reducirse de los materiales se denomina comúnmente potencial de electrodo. La diferencia relativa existente entre los potenciales de electrodo del cátodo y ánodo fijan el valor del voltaje de la celda completa y posteriormente de la batería. (30)

## 2.4. Funcionamiento de una batería Ion Litio

Tomando en cuenta el punto anterior, una batería ion litio actúa de una manera muy similar, ésta está compuesta de una celda única capaz de generar el voltaje nominal requerido. En el caso de estas baterías, el ion litio es el catión que viaja desde el ánodo hacia el cátodo. El Litio es un elemento altamente ionizable a la forma de  $\text{Li}^+$  es decir un ion positivo de más un electrón. El electrolito es comúnmente una solución salina sales de litio tales como  $\text{LiPF}_6$ ,  $\text{LiBF}_4$ , y  $\text{LiClO}_4$ , a hallarse en un solvente orgánico y es comúnmente usado el éter o el carbonato de etileno. De igual manera por lo general, el carbono en grafito es utilizado como ánodo, y el óxido de litio-cobalto ( $\text{LiCoO}_2$ ) o el óxido de litio-manganeso ( $\text{LiMn}_2\text{O}_4$ ), se utilizan normalmente de cátodo. Ambos electrodo se hayan separados por una membrana de separación que consiste de una lámina ultra delgada de plástico micro perforado que pese a separar los electrodos permite el paso de los iones a través de ella. Todos estos componentes se encuentran sellados en un empaque, y conforman una celda. Las celdas son combinadas en serie o en paralelo, y conectadas a un sistema de control y el cableado necesario; una vez completado el mecanismo, éste es sellado y empacado. (30)

En lo que respecta a los materiales de los que se componen el ánodo y cátodo, la diferencia relativa existente entre los potenciales de estos compuestos consiste en un voltaje aproximado de 3,6 V, el cual es mayor a los 1,5 V de una típica pila alcalina AA. Es debido a esto que la densidad de energía y la

energía específica en las baterías ion litio es mayor que en baterías alcalinas comunes e incluso que otras baterías recargables como las de Níquel e Hidruro Metálico (NiMH). La razón de esto se debe a que el litio al ser el tercer elemento más liviano tras el hidrógeno y helio, puede alojar una carga positiva en un menor espacio. No así, inclusive este tipo de batería es menos densa energéticamente hablando que un combustible fósil o la comida debido a la energía química almacenada en los enlaces químicos del carbono. (7)

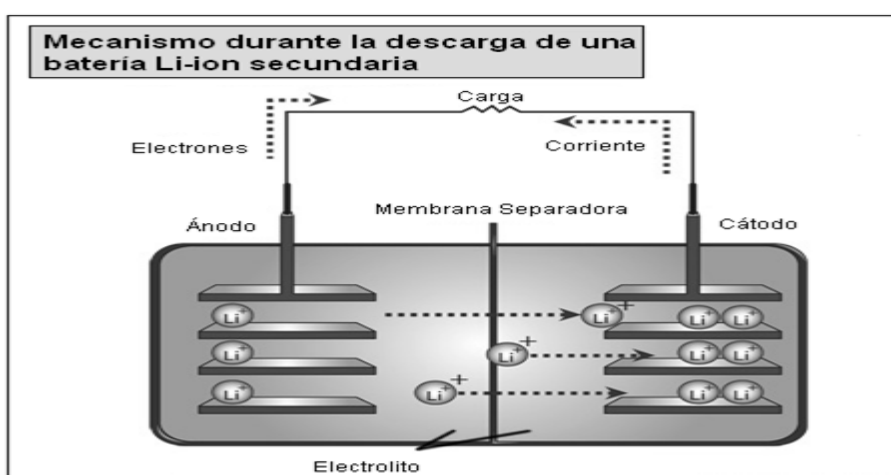


FIGURA 2.2: BOSQUEJO DE LA DESCARGA DE UNA BATERÍA LI-ION

(6)

Muy pocas baterías ion litio son del tipo primario, es decir descartables, por lo cual no son relevantes a tratar puesto que aunque poseen mayor carga energética que una alcalina no es sujeto de estudio. Por otro lado, a diferencia de las pilas alcalinas AA y AAA comunes, existen baterías ion litio recargables, y la recarga es posible al lograr una reacción inversa entre el ánodo y cátodo. Dicha inversión de la reacción es lograda por medio de un cargador conectado

a una fuente de energía eléctrica. En ese momento, los iones de litio se mueven de regreso al ánodo compuesto de carbono. (6)

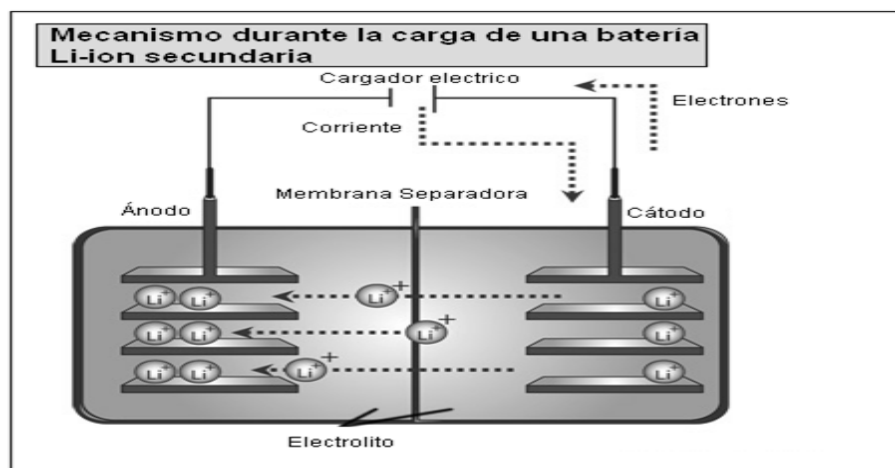


FIGURA 2.3: BOSQUEJO DE LA CARGA DE UNA BATERÍA LI-ION (6)

## 2.5. Selección de tipo de batería Ion Litio

Existen varias baterías Ion Litio recargables de tipo comercial utilizada para teléfonos móviles. De acuerdo con la marca de cada celular, cada una de las empresas trabaja mano a mano con la industria de manufactura de baterías para producir baterías para teléfonos móviles. De dichas baterías es se utilizan principalmente cátodos compuestos de óxidos de litio y otros metal tales como óxido Litio-cobalto ( $\text{LiCoO}_2$ ), óxido de Litio-manganeso ( $\text{LiMn}_2\text{O}_4$ ), y óxidos de vanadio. Como fue discutido con anterioridad, las celdas con cátodos de cobalto presentan una alta estabilidad y un alto rango de voltaje, sin embargo el cobalto tiene una limitada disponibilidad en el ambiente y es también tóxico,

por lo que muy poco se produce comercialmente en masa. El manganeso ofrece por otro lado, un bajo costo y un alto rango térmico, y presenta excelentes tasas de capacidad voltaica pero limitado comportamiento cíclico. Los óxidos de vanadio tienen una alta capacidad, sin embargo, debido a la inserción del litio, el vanadio tiende a volverse amorfo lo que limita el comportamiento cíclico, y los costos de procesamiento son altos. Debido a esto las celdas con cátodo de óxido de Litio-Manganeso es más atractiva en su uso para celulares en muchos aspectos, tales como su bajo costo, consistir de un relativamente sencillo proceso de producción, seguridad térmica, y adicionalmente que el manganeso es un elemento abundante en la naturaleza y muy utilizado en la industria.

## **2.6. Características de la batería Ion Litio con cátodo de óxido de litio-manganeso**

Existen distintos fabricantes de baterías ion-litio de tipo recargable como Panasonic, Dow Kokam, Hitachi Maxell, entre otras, y en común las baterías manufacturadas presentan las características generales que presentan a continuación:

- Alta densidad energética aproximadamente 143mAh/g
- Alto voltaje
- Alto ciclo de vida (aproximadamente 300 ciclos a 80% de descarga)
- Amplio rango de temperaturas para almacenamiento y operación

- Resistencia al goteo
- Mayor seguridad debido a una baja impedancia y generación de calor interna
- Peso liviano
- Taza baja de auto-descarga

Para su efecto se decidió seleccionar una batería MOTOROLA BT61-SNN5820A con capacidad mínima de 1170 mAh la cual tiene aptitudes similares a otras baterías compatibles con celulares inteligentes. La Figura 2.4 presenta las especificaciones técnicas de la batería seleccionada. La Tabla 1, por otro lado, especifica los porcentajes promedio de los materiales presentes de la batería (29).

Cell Type*1		ICP653840SRU
Dimension (mm) <sup>2</sup>	Thickness	6.2±0.3
	Width	37.8±0.2
	Height	40.0+0/-0.5
Weight(g) <sup>3</sup>		22
Charge (CCCV)	Max. Voltage (V)	4.2
	Max. Current (mA)	1.17
Discharge (CC)	End Voltage (V)	2.75
	Max. Current (mA)	1.76
Nominal Voltage (V)		3.7
Minimum Capacity (mAh) <sup>4</sup>		1170

\*1: "U" indicates that the cell has a Upper Positive Terminal.  
 \*2: Dimensions of fresh cell without tube.  
 \*3: Approximate value  
 \*4: Capacity is according to the following conditions: Charge CCCV: 1I/A/4.2V/3h, Discharge 0.2I/A/E.V.=2.75V, Temperature 25 deg. C  
 \*5: No positive terminal plate on the cell bottom

**FIGURA 2.4: ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE LA BATERÍA SELECCIONADA (28)**

**TABLA 1**  
**PORCENTAJE DE COMPONENTES MATERIALES DE LA BATERÍA**

Componente de la celda	Nombre Químico Común/Nombre General	Número de registro del	Rango de Concentración	Concentración media
Electrodo positivo	Óxido de Manganeso-Litio	48,227-7	20-40%	30%
Electrodo negativo	Grafito	7782-42-5	10-20%	15%
Aglutinante	Polímero de estireno butarieno modificado	no registra	0-3%	1,50%
Sal Electrolítica	Hexafluoruro de Litio-fosfato	21321-40-3	1-5%	3%
Solvente Electrolítico	Carbonato etílico	96-49-1	5-20%	12,50%
Otros componentes	Cobre	7440-50-8	5-10%	7,50%
	Aluminio	7429-90-5	5-40%	22,50%
	Polietileno	9002-88-4	1-3%	2%
	Otros	-	menos del 6%	menos del 6%

Las baterías Li-ion no contienen litio metálico

(28)

# CAPÍTULO 3

## 3. CICLO DE VIDA DE UNA BATERÍA ION LITIO

En el presente capítulo se especificará las distintas etapas de manufactura para producir la batería seleccionada, y así especificar las etapas de vida desde la adquisición de la materia prima hasta la disposición final del producto finalizado tras su uso.

### **3.1. Descripción del proceso de producción de una batería Li-ion cátodo de óxido litio-manganeso.**

A continuación se presentan las distintas etapas del ciclo de vida para la producción de un batería Li-ion de cátodo  $\text{LiMn}_2\text{O}_4$  de 22 g (aprox.), desde la cuna hasta la producción final de la batería para lista a ser despachada.

Las fuentes principales de litio en el ambiente son fácilmente disponibles en la naturaleza a través de lagunas salmueras ya sean naturales o artificiales. En

estos salares se encuentra una alta concentración de litio en soluciones salinas. La dos mayores reservas mundiales de este elemento son el desierto de Uyuni en Bolivia y el desierto de Atacama en Chile. El primer proceso que se sigue en esta cadena de procesos para la producción de las baterías Li-ion, es producir carbonato de litio de alta pureza ( $\text{Li}_2\text{CO}_3$ ). Para su efecto, el proceso se comprende de varias etapas. El litio concentrado en forma salinas es extraído de los salares dejando reposar al intemperie las salmueras para poder extraer principalmente bromuro de litio ( $\text{LiBr}$ ) y cloruro de litio ( $\text{LiCl}$ ). Las sales de litio son tratadas químicamente con ácido o aditivos para remover el boro, cloro y otras impurezas en forma de precipitados de magnesio, azufre, entre otros, y así seguir con un proceso de purificación. En el caso de la sal de  $\text{LiCl}$  se hace reaccionar con carbonato de sodio para la precipitación del litio en carbonato de litio. La reacción se muestra a continuación  $2\text{LiCl} + \text{Na}_2\text{CO}_3 \rightarrow \text{Li}_2\text{CO}_3 + 2\text{NaCl}$ . Esta sal de litio es filtrada, lavada con agua destilada a temperaturas entre 60 y 98°C y secada por dos horas a temperaturas entre 500 y 1000°C, lo cual resulta en una pureza aproximada de 99% o mayor. Por el otro lado la sal de  $\text{LiBr}$  se la hace reaccionar con ácido sulfúrico para remover el boro, y posteriormente el resultante de litio se lo hace reaccionar con carbonato de sodio para precipitar el carbonato de litio. Las dos reacciones que esquematizan el proceso son:  $2\text{LiBr} + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{Li}_2\text{SO}_4 + \text{H}_2\text{O} + \text{Br}_2$ ;  $\text{Li}_2\text{SO}_4 + \text{Na}_2\text{CO}_3 \rightarrow \text{Li}_2\text{CO}_3 + \text{Na}_2\text{SO}_4$ . Se realiza el mismo procedimiento de purificación que se sigue para el precipitado anterior. (11)

Por otro lado el óxido de manganeso  $Mn_2O_3$  es producido por medio de un proceso de dos etapas que consiste primeramente que el carbonato de manganeso ( $MnCO_3$ ) extraído de la naturaleza como mineral rodocrosita, es puesto durante 3 horas a una temperatura sobre los  $1000^\circ C$  en una atmósfera que contenga muy poco oxígeno, y posteriormente puesto nuevamente el mismo tiempo en el horno a la misma temperatura pero en una atmósfera con alto contenido de oxígeno, que produce una reacción química como la presentada a continuación:  $4MnCO_3 + O_2 + \text{calor} \rightarrow 2Mn_2O_3 + 4CO_2$ . Una vez obtenido el óxido de manganeso, éste en conjunto con el carbonato de litio es colocado en un horno rotativo a altas temperaturas sobre los  $1000^\circ C$  para resultar en óxido de litio-manganeso ( $LiMn_2O_4$ ). Durante las distintas etapas, la atmósfera dentro del horno rotativo es cambiada desde una atmósfera inerte donde se añade nitrógeno ( $N_2$ ) hasta una atmósfera de condición oxidante donde se añade oxígeno. La reacción química resultante dada corresponde a  $2Li_2CO_3 + 4Mn_2O_3 + O_2 (+ N_2) + \text{calor} \rightarrow 4LiMn_2O_4 + 2CO_2 (+ N_2)$ . (11)

Para poder producir el cátodo y el ánodo se requiere de ciertos componentes (un aglutinante, carbón negro,  $LiMn_2O_4$ , y grafito) en un molino de bolas hasta formar una solución acuosa. Posteriormente se realiza el recubrimiento de una lámina de aluminio y cobre con la mezcla. El aglutinante (polímero de estireno butarino modificado) es soluble en agua, y por lo tanto tiene la ventaja de no requerir la presencia de un solvente orgánico. Para la producción del separador, el cual es una película de polietileno poroso recubierta con una

mezcla compuesta de un copolímero, ftalato de dibutilo y sílice disuelta en acetona. El cátodo ánodo y separador aglutinados en una mezcla son calentados a 130°C, para poder así evaporar solventes y deshumidificar los componentes de los electrodos por completo y permitir un canal de celda seco (contenido de H<sub>2</sub>O <20 ppm). Adicionalmente, se debe producir el electrolito, del cual los materiales bases típicamente son carbonato de etileno (C<sub>3</sub>H<sub>4</sub>O<sub>3</sub>), y la sal electrolito típicamente es hexafluoruro de litio-fosfato (LiPF<sub>6</sub>). El carbonato de etileno se produce a partir de del etilenglicol (C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>O<sub>2</sub>) y el ácido carbónico a temperatura ambiente en una atmósfera oxidante (O<sub>2</sub>). El carbonato de etileno se precipita en agua liberando dióxido de carbono en una reacción exotérmica dada a continuación:  $3C_2H_6O_2 + 2H_2CO_3 + O_2 \rightarrow 2C_3H_4O_3 + 7H_2O + C_2O$ . Para producir el hexafluoruro de litio-fosfato, el fluoruro de litio (LiF) es producido a partir de una reacción de carbonato de litio Li<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> y fluoruro de hidrógeno a temperatura de ambiente,  $3Li_2CO_3 + 6HF \rightarrow 6LiF + 3CO_2 + 3H_2O$ . Posteriormente se determina la concentración adecuada colocando amonio líquido con un pH de 7.5, lavado con agua y secado a temperatura ambiente. Luego se hacen reaccionar el fluoruro de litio y fosforo pentaclorado (PCl<sub>5</sub>) a una temperatura entre -20 y 300°C a un intervalo de 1 a 10 horas, en una autoclave con una atmósfera inerte de nitrógeno (N<sub>2</sub>), produciendo una reacción química que da por resultado el hexafluoruro de litio-fosfato,  $PCl_5 + 6 LiF \rightarrow LiPF_6 + 5LiCl$ . (11)

Por último el cátodo, separador y ánodo son arreglados, desplegados y cortados en pequeñas láminas de tamaños específicos, amontonados y empacados en polietileno en una celda única. En una atmósfera inerte de N<sub>2</sub>, el electrolito (LiPF<sub>6</sub> disuelto en C<sub>3</sub>H<sub>4</sub>O<sub>3</sub>) es añadido al aglomerado de electrodos. Y finalmente, varias celdas son empaquetadas con una cubierta de polietileno CAS 9002-88-4. (11)

### **3.2. Descripción del transporte y almacenamiento de una batería Li-ion**

Las baterías Li-ion para ser transportadas a distintos lugares, las empresas afines con la producción de estas siguen regulaciones y estándares específicos. Debido a que las baterías Li-ion corresponden a una potencia menor a 100 Watt-hora por lo que deben cumplir las normas internacionales establecidas a continuación:

- Las instrucciones técnicas de la Organización Internacional de Aviación Civil (ICAO por sus siglas en inglés), y las regulaciones de la Asociación Internacional de Transporte Aéreo (IATA por sus siglas en inglés).
- Las regulaciones de la Organización Marítima Internacional (IMO).
- Las normativas en Estados Unidos del Departamento De Transporte (DOT).

Considerando que las baterías son ensambladas en el exterior, el medio de transporte por el cual se lleva a cabo el despacho de las mismas es de forma

aérea. El producto en cuestión es llevado a cabo en un ensayo de calidad y seguridad para ser posteriormente empaquetados en cajas de cartón y plástico. Y almacenado debidamente a temperaturas menores a 60°C en un ambiente seco y cerrado, en empaques cerrados dentro de cajas de cartón de 15x10x5 cm<sup>3</sup> (0,00075 m<sup>3</sup>), apiladas a una altura máxima de 1,2 m.

### **3.3. Disposición final de una batería Li-ion**

De acuerdo con el Informe de datos técnicos (Data Sheet) otorgado por el fabricante de las baterías, el producto, durante su uso y manejo normal, no posee propiedades toxicológicas ni consiste de riesgo ecológico alguno. Se especifica que para su uso y desecho no se debe descubrir ni desmontar el producto, no debe ser pinchando ni aplastado, ni mucho menos debe ser expuesto al fuego o a temperaturas mayores a 60°C puesto que corre riesgo de explosión. Adicionalmente se especifica que el producto contiene materiales reciclables. Se recomienda consultar opciones de reciclaje en la localidad o región donde se use, para reciclar óxidos de litio, carbonatos y otras aleaciones de metales. Caso contrario debe deshacerse de ésta únicamente respetando en todo momento la legislación y normativa aplicable en la localidad o región donde se utilice. (29)

Por otro lado, cabe recalcar que actualmente en el país existe una regulación que se encarga del reciclaje y el manejo de desechos electrónicos considerados estos como desechos peligrosos. En la Constitución del 2008 en

la Sección Séptima: Biosfera, ecología urbana y energías alternativas, artículo 415 establece “El Estado central y los gobiernos autónomos descentralizados adoptarán políticas integrales y participativas de ordenamiento territorial urbano y de uso del suelo, que permitan regular el crecimiento urbano, el manejo de la fauna urbana e incentiven el establecimiento de zonas verdes. Los gobiernos autónomos descentralizados desarrollarán programas de uso racional del agua, y de reducción reciclaje y tratamiento adecuado de desechos sólidos y líquidos. Se incentivará y facilitará el transporte terrestre no motorizado, en especial mediante el establecimiento de ciclo vías.” (9) De igual forma, desde mayo del 2009 se encuentra vigente una modificación al Título V del Libro VI del Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria (TULAS) del Ministerio, correspondiente al Reglamento para la Prevención y Control de la Contaminación por Desechos Peligrosos. Dicha modificación señala en el artículo 153:

**Los desechos peligrosos comprenden aquellos que se encuentran determinados y caracterizados en los Listados de Desechos Peligrosos y Normas Técnicas aprobados por la autoridad ambiental competente”. Y en el artículo 155: “El Ministerio del Ambiente (MA) es la autoridad competente y rectora. Para este efecto se encargará de:**

**a) Coordinar la definición y formulación de políticas sobre el manejo ambientalmente racional de los desechos peligrosos en todo el territorio nacional.**

...

**c) Promover como objetivo principal la minimización de la generación de los desechos, las formas de tratamiento que implique el reciclado y reutilización, la incorporación de tecnologías más adecuadas y apropiadas desde el punto de vista ambiental y el tratamiento en el lugar donde se generen los desechos. (9)**

Sin embargo, el TULAS no presenta detalle alguno sobre el manejo a dársele a los desechos electrónicos tales como celulares y sus respectivas baterías ya que no se haya en los listados del Anexo 7 como material químico peligroso. Por otro lado, el Ecuador al ser signatario del Convenio de Basilea (firmado en 1989 y en vigor desde 1992) se rige bajo dicha normativa de igual manera. En dicho pacto internacional se regula estrictamente el movimiento transfronterizo de desechos peligrosos y se estipula que las partes tienen la obligación de asegurar el manejo ambientalmente racional de los mismos, particularmente su disposición. En los listados actuales de dicho convenio se establece a los desechos electrónicos como desechos peligrosos. Es con esto que se ajusta que las baterías Li-ion se consideren como desecho peligroso. (32)

Por otro lado, en el país, las principales municipalidades desconocen las pautas a seguir para el manejo de desechos químicos peligrosos y más aún al no encontrarse en los listados los electrónicos, no se hace un seguimiento de una recolección adecuada de basura. Adicionalmente, en el país existe una falta de cultura del reciclaje por parte de los habitantes y un deficiente incentivo legal por parte del Estado para el manejo adecuado de desechos por lo cual es poco posible una correcta disposición final de las baterías ion-litio y de los celulares.

No obstante, empresas en conjunto con universidades y fundaciones del país realizan la recolección de teléfonos y baterías en desuso para su debido tratamiento como desecho electrónico. Dichos tratamientos se realizan parcialmente en Loja y gran parte de ellos por completo en la ciudad de Quito por parte de la compañía Hazwat donde se recicla el material y se trata. En el 2012, el Ministerio de Ambiente en convenio con la empresa Intercia abrió una planta nacional de reciclaje de desechos electrónicos en la vía Durán-Tambo. Sin embargo aún existe una gran desinformación entre los ciudadanos. Es por ello, que sólo un 25% de baterías de los celulares llegan a ser tratadas en estas locaciones. Por ende, a partir de esto se asumirá que la disposición final de un 75% de las baterías Li-ion es directa al tacho de basura que se une con los desechos municipales en rellenos sanitarios, mientras otra parte de las baterías siguen un tratamiento de desechos electrónicos fuera de Guayaquil, pero sí dentro del país. Dichos tratamientos de desechos electrónicos un

proceso mixto piro-metalúrgico e hidro-metalúrgico para la recolección y reciclaje de sus componentes principales (16).

# **CAPÍTULO 4**

## **4. EVALUACIÓN DE CICLO DE VIDA PARA UNA BATERÍA LI-ION**

En el capítulo actual, se describen los distintos pasos del ECV para la batería Li-ion seleccionada a lo largo de su ciclo de vida. En cada sección se realiza uno o dos secciones del estudio según lo estipulado por las normas ISO 14040.

### **4.1. Definición del Objetivo y Alcance del Estudio**

#### **4.1.1. Objetivo del Estudio**

En esta ECV se tiene por objetivo principal evaluar los impactos que pudieren causar las distintas etapas de vida de una batería ion Litio durante su producción, uso y disposición final. De igual manera se tiene como objetivo adicional reconocer que etapa de vida causa mayor impacto significativo, y que impactos son mayores dentro de cada una de las etapas de vida de la batería.

Debido a que en el país no se producen baterías ion-litio, los resultados obtenidos a través del estudio permitirán hacer una comparación entre los impactos ambientales que ocurren dentro de la región en contraste con todo el ciclo de vida de la batería ion-litio. Esto quiere decir que se evaluará principalmente la carga ambiental de las etapas que ocurren en la región las cuales son el uso, el transporte de recolección de desecho y la disposición final de la batería. La audiencia prevista para este estudio es la comunidad académica, los usuarios de estos aparatos electrónicos, y las entidades públicas encargadas de la disposición de residuos sólidos.

#### **4.1.2. Alcance del Estudio**

##### **4.1.2.1. Función, Unidad Funcional y Flujo de Referencia**

La función de la batería Li-ion es proveer energía requerida para el funcionamiento de un celular moderno de alta tecnología. La batería es de tipo recargable puede restaurar completamente su carga mediante la conexión del teléfono móvil con un cargador hacia una fuente externa de alimentación eléctrica (un tomacorriente eléctrico común de pared de 110V).

La unidad funcional es una batería Li-ion con cátodo  $\text{LiMn}_2\text{O}_4$  y ánodo de grafito, con las siguientes características:

- capacidad nominal de 1170 mAh

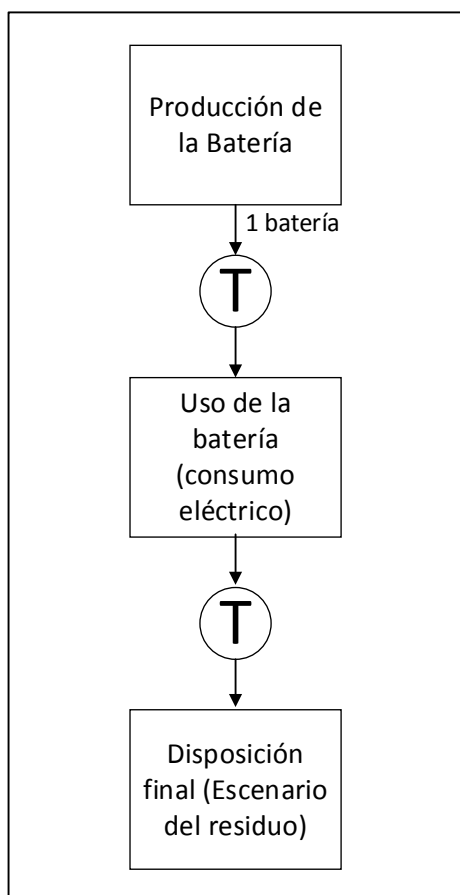
- voltaje nominal de 3,7 V
- 22 gramos
- 50% del tiempo de vida trabajara con carga máxima y 50%, con carga mínima.

Se ha seleccionado ese tipo de batería Li-ion por su costo y accesibilidad de los componentes, que la hacen más atractiva para su fabricación. Como se detalló con anterioridad la batería estudiada para el efecto es una Motorola serial BT61-SNN5820A.

#### **4.1.3. Límites del Sistema de Producto**

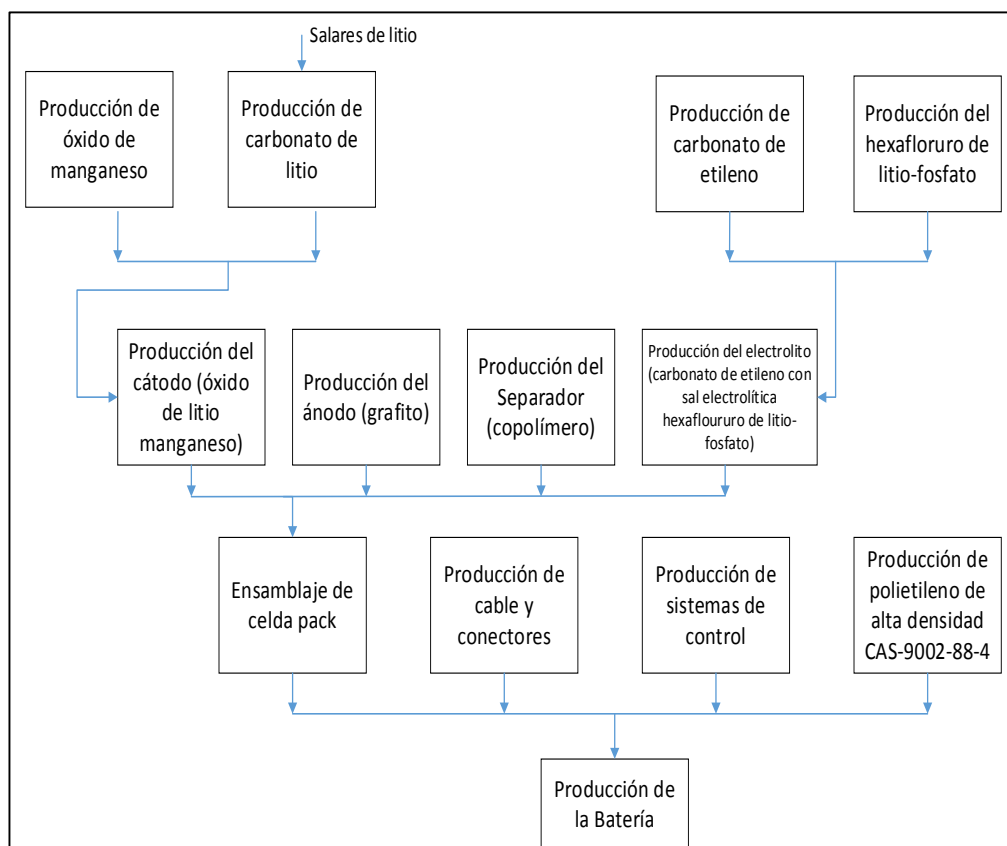
El diagrama de flujo mostrado en la Figura 4.1 a continuación representa esquemáticamente el sistema de producto. Dicho sistema de producto consiste en un ciclo de vida con actividades que serán dispuestas en:

- Producción y ensamblaje de la batería,
- Transporte del producto finalizado,
- Uso de la batería,
- y disposición final de la batería.



*FIGURA 4.1: LÍMITES DEL SISTEMA (12)*

Adicionalmente, en la Figura 4.2 se presentan los procesos que corresponden a la producción de una batería. Estos sin bien es cierto no serán considerados dentro del análisis del inventario, son importantes de establecer para comprender el tipo de inventario de entrada y salida en esta etapa de vida.



**FIGURA 4.2: FLUJO DE LOS PROCESOS PARA LA PRODUCCIÓN DE UNA BATERÍA ION-LITIO (12)**

La producción de la batería de ion litio considerada como unidad funcional incluye las siguientes actividades (12).

- Producción del cátodo de Óxido de Litio-Manganeso (LiMn<sub>2</sub>O<sub>4</sub>)
- Producción del ánodo de grafito
- Producción del separador de copolímero (eftalato de dibutilo y sílice disuelta en acetona)

- Producción del electrolito de carbonato de etileno (C<sub>3</sub>H<sub>4</sub>O<sub>3</sub>) con sal electrolítica hexafluoruro de litio-fosfato (LiPF<sub>6</sub>)
- Ensamblaje de la celda-pack batería abarca
- Producción de polietileno CAS 9002-88-4 para empaque envoltura
- Ensamblaje de celda, cables y conectores, y sistema de control interno

#### 4.1.4. Categorías de Datos y Requisitos de calidad de datos

Como fue expresado con anterioridad, los flujos de entrada al sistema corresponden a los procesos presentados en la Figura 4.1. El ciclo de vida se resume en:

- Producción o ensamblaje de batería
- transporte terrestre;
- transporte aéreo;
- uso de la batería (consumo eléctrico);
- transporte de recolección municipal;
- escenario de desecho.

Finalmente, se requiere que los datos sean de un tiempo no mayor 10 años hasta la fecha, condición importante dentro de las suposiciones tomadas en la selección de base de datos. La tecnología de los procesos de manufactura es del tipo promedio

moderna a la tecnología llevada a cabo en países donde existe producción de baterías de este tipo como Estados Unidos, Europa Occidental o Japón, puesto que actualmente dicho tipo de tecnología no se haya en nuestro medio. Sin embargo en cuanto al transporte, el uso y la disposición final de las baterías se tomaran en cuenta los métodos de manejo de desechos utilizados en Latinoamérica.

#### **4.2. Análisis del Inventario del Ciclo de Vida**

Para la estructuración del inventario del sistema producto, ha sido necesario el uso de bases de datos comerciales y de otros estudios de ciclo de vida que se encuentran dentro del software empleado Simapro. La información en los inventarios estructura los datos en forma de procesos. Los procesos consisten en actividades que involucran entradas y salidas en dirección a la naturaleza o la tecnosfera. En el caso de las entradas o ingresos provenientes de la naturaleza consisten de la extracción o uso de recursos, de igual manera las salidas o egresos hacia la naturaleza consisten en emisiones, efluentes y desechos sólidos. Tales entradas y salidas son los flujos primarios. Por otro lado, las entradas y salidas a la tecnosfera, flujos de producto consisten en flujos de productos. Las entradas pueden consistir en combustibles, transporte, producción de material y salidas de otros procesos, entre otros. De igual modo, la salida hacia la tecnosfera consiste en la salida del producto, co-productos y subproductos (36).

Las actividades llevadas a cabo en cada proceso consisten de una unidad específica que se deben abiertamente de la participación del proceso en el producto. Adicionalmente, para la selección de bases de datos de cada proceso es importante tener en cuenta que la representatividad temporal, geográfica, tecnológica y limítrofe sean lo más cercano posible a lo planteado en este estudio.

### **4.3. Cuantificación de Cantidad de Proceso**

Fue necesario encontrar la cantidad de unidad de proceso para de esta manera crear un inventario de entradas y salidas cuantificable. Debido a que los tipos de datos y categorías de proceso son distintos las unidades de referencia también, y por lo tanto el método utilizado para determinar cada uno varía.

#### **4.3.1. Cantidad de materiales en celda-pack**

Para poder determinar la masa de cada uno de los materiales usados, y fue necesario tomar en consideración el porcentaje de material presente en la batería utilizada como unidad funcional. Dichos datos se obtienen a partir de la hoja de datos otorgada por el fabricante y la masa de la batería de 22 gramos (29). Estos datos son importante a la hora de ingresar la información respecto a la composición de la batería en el software. En la Tabla 2 a continuación se observa la composición de los materiales de la batería.

**TABLA 2**  
**COMPOSICIÓN DE LA BATERIA ESTUDIADA**

Celda de óxido de litio-manganeso/grafito				
Componente de la celda	Material	Concentración media	Masa media	Unidad de referencia
Cátodo	LiMn4O2	30%	6,6	g
Ánodo	Grafito	15%	3,3	g
Separador	Aglutinante/Li P F6/C3H4O3	17%	3,74	g
Celda	Concentración total	62%	13,64	g
	Polietileno de alta densidad	2%	0,44	g
	Unidades electrónicas de control	1%	0,22	g

Las masas expuestas corresponden a entradas de material desde la tecnosfera.

#### **4.3.2. Cantidad de datos para el consumo eléctrico por uso de la batería**

Con el uso de la batería, implica que la batería debe ser recargada lo cual consiste en un consumo eléctrico. Este consumo eléctrico depende de la “capacidad de la batería en almacenar energía” la cual depende tanto de la masa de la batería como de su composición. Majeau-Bettez y colegas (2011) en su ECV sobre baterías para autos eléctricos propone un cálculo sencillo para determinar el consumo

eléctrico de una batería a partir de su capacidad de carga. El cálculo consiste en multiplicar los ciclos de carga posibles por tipo de batería, profundidad de descarga (porcentaje máximo de descarga), la capacidad energética nominal por kilogramo masa del tipo de batería y su eficiencia como batería. El valor final consiste en la Capacidad energética específica en la vida de la batería, lo cual es análogo al consumo eléctrico de la batería a lo largo de su vida por kilogramo (28). Por lo tanto cabe establecer ciertos supuestos respecto a la unidad funcional basada en la composición de la misma, para así determinar el consumo eléctrico:

- En cuanto a la profundidad de descarga se asume que la batería a lo mucho se deja descargarse hasta un 95% de toda su carga.
- La batería analizada tiene una masa de 22 gramos (0,022 kg).
- De acuerdo con Murphy y colegas (2001) el número de ciclos de cargas y descargas totales estimadas para una batería ion litio de tipo comercial circula los 300 ciclos (27).
- Como fue mencionado anteriormente en el Capítulo 2, una batería ion-litio común puede almacenar hasta 250 watts-hora, siendo esta su capacidad energética nominal específica.

- Se asume una eficiencia del 90%, basada en la información proporcionada en el Capítulo 2 sobre las ventajas del uso de baterías ion litio.

Considerando la información anterior se procede al cálculo del consumo eléctrico de la batería, y por lo tanto se obtiene un consumo de 1,41 kW-h por vida útil.

$$0,95 \times 0,022 \text{ g} \times 300 \frac{\text{ciclos}}{\text{vida util}} \times \frac{250\text{Wh}}{\text{g}} \times 0,90$$

$$= 1410,75 \frac{\text{Wh}}{\text{vida util}}$$

#### 4.3.3. Cantidad de datos de transporte

La unidad de referencia es la misma tanto para el transporte aéreo como para el terrestre: tkm (tonelada por kilómetro). En el caso del transporte terrestre fue necesario tomar en cuenta las distancias recorridas. La oficina de producción se encuentra en Schaumburg, Illinois (EE.UU.) y la oficina de distribución se halla en Libertyville, Illinois (EE.UU.) hay una distancia de 41,8 km entre ellas. De la oficina de distribución y el aeropuerto internacional de Chicago hay una distancia de 62,2 km. Un total de 104 km es recorrido. Cada unidad funcional equivale a 22 g de masa, es decir 0,000022 toneladas. Lo que significa que la cantidad de dato es 0,002288 tkm. De igual manera fue calculada la cantidad de dato del transporte

aéreo. La distancia de Chicago hasta Guayaquil es aproximadamente 4962 km. Lo significa que se obtiene 0,1092 tkm. Sin embargo, lo más relevante es el caso del transporte realizado por el recolector de basura. Si se considera que los usuarios no realizan una disposición final correcta para las baterías, asumimos que el usuario de una batería la dispondrá con los desechos sólidos comunes. Por lo tanto, fue necesario considerar un punto central de recolección como el centro de la urbe. La distancia a recorrer desde el centro de la ciudad hasta el Complejo de Relleno Sanitario de las Iguanas es de 20 km. Con esto se obtiene 0,00044 tkm. Sin embargo, como fue especificado anteriormente, solamente un 75% de los productos son dispuestos al basurero. Por lo tanto la cantidad de dato para el transporte en la recolección de basura es de 0,00033 tkm.

#### **4.3.4. Escenario de residuo**

En el sistema de producto planteado para el análisis de ciclo de vida de producto, fue establecido que solo un 25% de los desechos electrónicos en el país son destinados a un tratamiento de desechos electrónicos con tecnología mixta, es decir pirometalúrgico e hidrometalúrgico (16), y mientras el otro 75% es enviado al relleno sanitario donde son enviados los desechos sólidos municipales. En base a esto se puede establecer que de los 22g del producto estudiado

5.5 g (25%) reciben tratamiento de desecho electrónico y 16.5g (75%) reciben son tratados en el relleno municipal. Se establece como escenario de residuo entonces un escenario de 25% de tratamiento de desecho electrónico (similar a Estados Unidos puesto que son las bases de datos más cercanas geográficamente) y un 75% como sistema de recolección de basura puerta a puerta con tratamiento de desecho sólido común en relleno sanitario municipal.

#### **4.4. Evaluación de Impacto Ambiental**

##### **4.4.1. Selección de los Métodos de Evaluación**

Para poder cumplir los objetivos definidos en el ECV y de igual manera seguir la norma ISO 14042, ha sido necesario seleccionar por lo menos dos indicadores de impacto con el fin de desarrollar un análisis representativo de los impactos ambientales producidos por el ciclo de vida del producto seleccionado. Dependiendo del indicador seleccionado el enfoque del análisis varía debido a que las categorías de impactos que se toman a consideración son diferentes. Entre las herramientas utilizadas para el desarrollo de este ECV está el software en el cual se encuentran diversos métodos de evaluación e indicadores entre los más conocidos e utilizados se encuentran:

- Eco-indicador 99 (E/H/I)
- CML 2001 (all impact categories)

- CML 2 baseline 2000
- Ecological Footprint
- Cumulative Energy Demand

Para el desarrollo de este ECV se escogieron como indicadores de impacto el Eco-indicador 99 tomado desde una perspectiva Jerárquica y el CML 2 baseline 2000, debido a que se desea observar con dos distintos enfoques los aspectos significativos del ciclo de vida de la batería ion litio.

#### **4.4.1.1. Eco-indicador 99**

El Eco-indicador 99 es un método (endpoints) orientado a la evaluación de daños por los efectos finales aplicado para el Análisis de Ciclo de Vida y para el Eco-diseño. A través de este método se puede medir varios impactos ambientales y representarlos en un resultado final valórico. Este método de caracterización de impactos fue desarrollado por la Empresa Consultora holandesa Pré Consultants, y es un método que liga los resultados de los inventarios en tres categorías de daños o criterios de valoración como lo establece el ISO 14042. Tales categorías son:

- Daño a la Salud Humana
- Daño a la Calidad del Ecosistema

- Daño a los Recursos Naturales

El método tiene sus limitaciones debido a que las perspectivas estimadas por distintos estudios difieren en que sustancias son consideradas dañinas o no, o cuáles impactos resultan más significativos que otros. Para ello el método ha sido desarrollado para ser trabajado en tres perspectivas diferentes: individualista, igualitaria y jerárquica. La perspectiva individualista asume una perspectiva de corto plazo, incluye sustancias sólo si hay una prueba completa acerca de sus efectos, asume que los daños son recuperables por el desarrollo tecnológico y económico, y que los combustibles pueden ser sustituidos con facilidad. El punto de vista igualitario es a largo plazo e incluye sustancias cuando no una mínima indicación en cuanto a su efecto, asume que los daños no se pueden evitar y puede dar lugar a efectos catastróficos, y que los combustibles fósiles no pueden ser sustituidos. La perspectiva jerárquica también se establece a largo plazo y asume las sustancias cuando hay consenso en cuanto a sus efectos, los daños pueden ser evitados mediante una buena gestión, y los combustibles fósiles no se sustituyen con facilidad. (2)

En cada uno de los criterios de evaluación se miden impactos ambientales. En el caso de la evaluación sobre la Salud Humana los valores se expresan en unidades DALY que por sus siglas en

inglés corresponden a los años de reducción del estándar de vida humana (Disability Adjusted Life Years). El modelaje de daños realizado corresponde a efectos en el sistema respiratorio y efectos cancerígenos, al igual que a efectos causados en la salud por el cambio climático, la depleción o agotamiento de la capa de ozono, o la radiación iónica (2).

Para el caso de la evaluación sobre la Calidad del Ecosistema los valores son expresados en PDF por metro cuadrado por año. Un PDF por sus siglas en inglés corresponden a la Fracción de Área Potencialmente Desaparecida (Potentially Dissappeared Fraction). En este criterio se establece una valoración del porcentaje de especies desaparecidas en un área específica debido a la carga ambiental durante un tiempo establecido. Entre los impactos evaluados dentro de esta caracterización de daños se encuentra la Ecotoxicidad que valora el impacto significativo sobre todas las especies bajo exposición y contaminación tóxica. De igual manera se presenta la Acidificación y Eutroficación como un solo tipo de impacto que envuelve el daño a áreas naturales y ecosistemas específicos. Como último impacto en esta categoría de daño está el uso y la transformación de la tierra que se debe a la ocupación y manipulación de la misma (2)

Por último la categoría de daño a los Recursos Naturales consiste en los impactos sobre los minerales y sobre los combustibles fósiles tales como su depleción, y a su vez está caracterizado en las unidades de energía almacenada en ingles lo define como MJ surplus (2). Adicionalmente cabe enunciar los factores bajo los cuales se realiza la normalización y ponderación en el método Eco-indicador 99 bajo perspectiva Igualitaria se presentan a continuación.

**TABLA 3**  
**NORMALIZACIÓN DE CANTIDADES EN ECOINDICADOR 99**

<b>Categoría de Daño</b>	<b>Normalización</b>	<b>Ponderación</b>
Salud Humana	2.15E+02	400
Calidad del Ecosistema	1.78E-04	400
Recursos	2.88E-03	200

La Tabla 3 muestra los valores usados dentro del software para la normalización de los resultados por categoría de daños del Ecoindicador 99 a una unidad única.

#### **4.4.1.2. CML 2 Baseline 2000**

Este método es una actualización del CML 92 que corresponde a la Guía de Evaluación de Ciclo de Vida creada por CML (Centrum voor Milieuwetenschappen Leiden) o Instituto de Ciencias Ambientales de Holanda en 1992. El método originalmente creado por CML tiene un enfoque orientado al problema ambiental y consiste en un método de efectos intermedios (midpoint). Está enfocado en una serie de categorías de impacto puestas en términos de emisiones al medio ambiente o de uso de los recursos (2). Dichas categorías de impacto se hayan en la Guía del CML enlistadas y agrupados en;

- A: Categorías de Impacto obligatorias (usada en su mayoría en todo ECV)
- B: Categorías de impacto adicionales (indicadores operacionales y poco usado en ECVs)
- C: Otras categorías de impacto (difícil de cuantificar para un ECV)

El método CML baseline 2000 corresponde a un método de referencia para el desarrollo del ECV y por ende el grupo de criterios de valoración es tipo A. Las categorías de impacto consideradas para dicho grupo son:

- Depleción abiótica

- Acidificación
- Eutroficación
- Calentamiento Global (a 100 años)
- Depleción (Erosión) de la capa de ozono (ODP)
- Toxicidad humana
- Ecotoxicidad acuática en agua dulce
- Ecotoxicidad acuática marina
- Ecotoxicidad terrestre
- Oxidación fotoquímica

La caracterización para este método depende de los factores y del impacto ambiental que se evalúa. En el caso específico de la depleción abiótica, este indicador de categoría de impacto está relacionado con la extracción de minerales y combustibles fósiles, debidas a las entradas al sistema desde la tecnosfera y la naturaleza. El factor de depleción abiótica (ADF) se determina para cada extracción de minerales y combustibles fósiles en Sb kg eq (kg equivalentes de antimonio / kg de extracción), basado en las reservas de la concentración y el ritmo de desacumulación. Por otro lado, en el caso del cambio climático, el Panel Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático o IPCC por sus siglas en inglés ha elaborado un modelo de caracterización que está seleccionado para el desarrollo de

factores de caracterización donde dichos factores se expresan como Potencial de Calentamiento Global para un periodo máximo de 100 años (GWP100), y se expresan  $\text{CO}_2$  kg eq / kg (kg equivalentes de dióxido de carbono / kg de emisiones). Adicionalmente, la Organización Meteorológica Mundial (OMM) desarrolló un modelo de caracterización para la Depleción de la Capa de Ozono que define el potencial de agotamiento o depleción de la capa de ozono causado por diferentes gases y se mide en CFC-11 kg eq / kg (kg equivalentes de Clorofluorocarbonos tipo 11 / kg de emisiones). Por último, los factores de caracterización expresados como Potencial de Toxicidad Humana (HTP) se calculan con el modelo de caracterización de Factores de Equivalencia Tóxicos (TEF) USES-LCA (Uniform System for the Evaluation of Substances) creada por la Comisión Europea de Ciencias Ambientales. Estos describen el destino, la exposición y los efectos de sustancias tóxicas para un periodo de tiempo infinito. Para cada sustancia tóxica se expresa los HTPs en kg 1,4-DB eq / kg (kg equivalentes de 1,4-diclorobenceno / kg de emisiones). Los factores de Ecotoxicidad en el agua fresca y marina y en el suelo, son igualmente definidos en kg equivalentes de 1,4-diclorobenceno / kg de emisiones. En consecuencia se presentan los factores para normalizar los valores de

caracterización para cada una de las categorías de impacto evaluadas en el método (2).

**TABLA 4**  
**NORMALIZACIÓN DE CANTIDADES EN CML2 BASELINE 2000**

<b>CATEGORIA DE IMPACTO</b>	<b>NORMALIZACION</b>
Depleción Abiótica	6.32E-12
Acidificación	3.09E-12
Eutroficación	7.53E-12
Calentamiento Global (GWP 100)	2.27E-14
Depleción de la Capa de Ozono	8.76E-10
Toxicidad Humana	1.67E-14
Ecotoxicidad de agua dulce	4.83E-13
Ecotoxicidad de agua marina	1.32E-15
Ecotoxicidad terrestre	3.79E-12
Oxidación Fotoquímica	9.59E-12

La Tabla 4 muestra los valores usados dentro del software para la normalización de los resultados por categoría de daños del CML2 baseline 2000 a una unidad única.

#### **4.4.2. Resultados de Evaluación de Impacto ambiental bajo el Eco-indicador 99**

El análisis de inventario de entradas y salidas para el ciclo de vida de la unidad funcional seleccionada, fue realizado por medio del Eco-indicador 99 aplicándosele una perspectiva jerárquica. Los resultados de la evaluación fueron obtenidos a través del uso del software Simapro. El programa de ECV permitió evaluar las distintas

cargas ambientales sistemáticamente por medio de pasos para el análisis final de los datos los cuales serán tratados a continuación.

#### **4.4.2.1. Caracterización**

La caracterización consistió en obtener los resultados de los indicadores de categoría de impacto. Las categorías de impacto corresponden a tres categorías de daños ambientales: daños a la salud humana, daños al ecosistema y uso de los recursos. En la Tabla 1 del Apéndice A, se presenta cada uno de los impactos ambientales evaluados para el ciclo de vida de la batería, obtenidos a partir del inventario de entradas y salida del ciclo de vida de la unidad funcional. Pese a que ciertas categorías de impacto se relacionan con otras, se puede observar en dicha tabla que las unidades métricas no son equivalentes. Por lo cual se requiere para una más profunda evaluación observar los impactos a través del panorama de Evaluación de daños.

#### **4.4.2.2. Evaluación de Daños**

Por medio de la Evaluación de Daños se puede observar en la Tabla 2 del Apéndice A, que dependiendo de la categoría de impacto, los resultados se presentan convertidos ya sea a unidades DALY, PDF\*m2yr o MJ surplus. La Tabla 5 a continuación presenta por Categoría de daños los impactos ambientales del ciclo de vida de la unidad funcional.

**TABLA 5**  
**EVALUACIÓN DE DAÑOS AMBIENTALES DEL CICLO DE VIDA DE LA**  
**BATERÍA**

	Daños a la Salud Humana	Daños a los Ecosistema	Uso de los Recurso
Unidad	<i>DALY</i>	<i>PDF*m2yr</i>	<i>MJ surplus</i>
Producción de la Batería	2,86E-07	3,67E-02	2,85E-01
Transporte (despacho)	6,08E-09	2,76E-04	1,43E-02
Uso de la batería (consumo eléctrico)	7,92E-07	3,96E-02	9,89E-01
Transporte (recolección de basura)	5,43E-10	2,60E-05	8,26E-04
Disposición final (Escenario del residuo)	6,29E-09	2,49E-04	4,71E-03
<b>Total</b>	<b>1,09E-06</b>	<b>7,69E-02</b>	<b>1,29E+00</b>

#### 4.4.2.3. Normalización

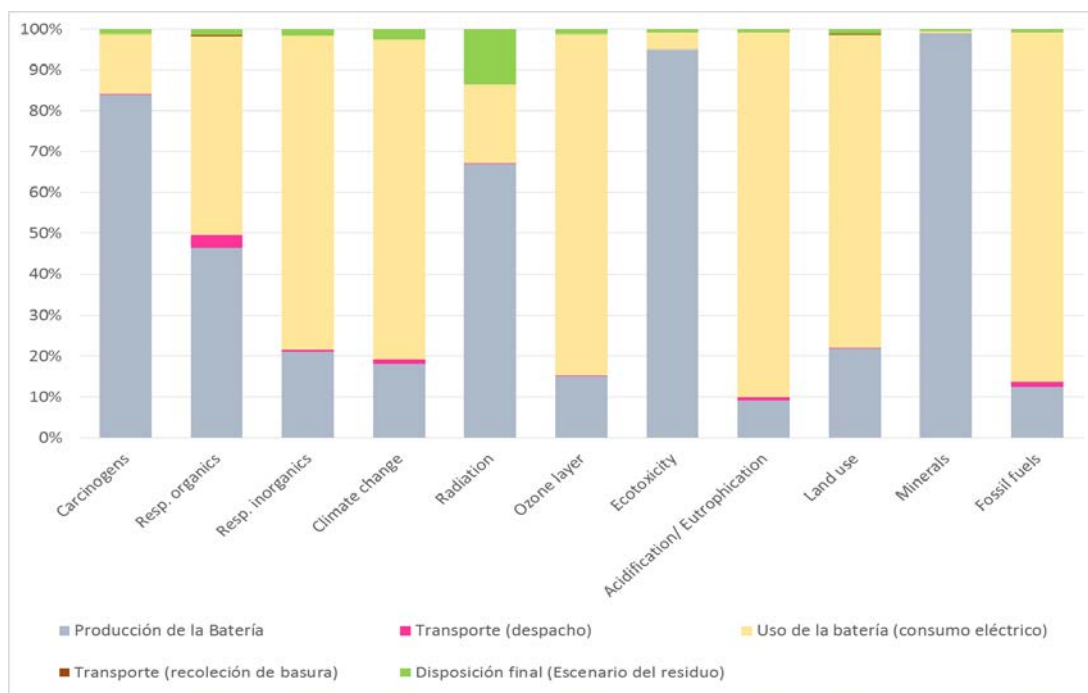
Adicionalmente, pese a que la evaluación de daños permite observar los impactos ambientales del ciclo de vida de la batería, fue necesario normalizar las cantidades por medio de los valores expuestos anteriormente en la Tabla 3. La normalización ha otorgado la misma unidad global neutra a cada uno de los impactos como se puede observar en la Tabla 3 del Apéndice A. La finalidad de esta normalización se da con el fin de representar

e identificar el grado de contribución de cada una de las categorías de impacto. A continuación la Tabla 6 presenta los valores normalizados por agrupación en tres categorías de daños ambientales del ciclo de vida de la batería.

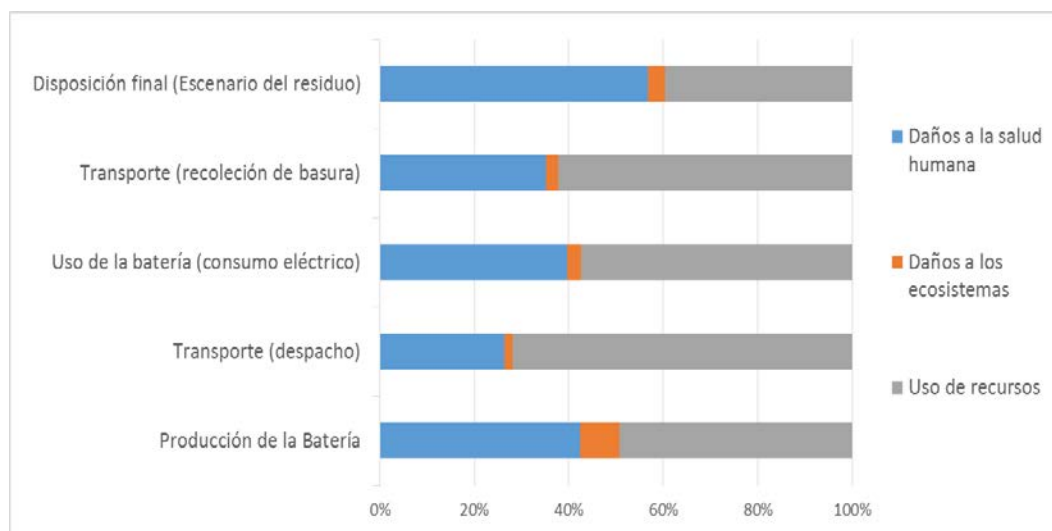
**TABLA 6**  
**NORMALIZACIÓN DE DAÑOS AMBIENTALES DEL CICLO DE VIDA DE LA BATERÍA**

Categoría de impacto	Total	Producción de la Batería	Transporte (despacho)	Uso de la batería (consumo eléctrico)	Transporte (recolección de basura)	Disposición final (Escenario)
Daños a la salud humana	1,26E-04	3,26E-05	6,94E-07	9,04E-05	6,19E-08	1,98E-06
Daños a los ecosistemas	1,35E-05	6,42E-06	4,83E-08	6,93E-06	4,54E-09	1,22E-07
Uso de recursos	1,72E-04	3,78E-05	1,89E-06	1,31E-04	1,09E-07	1,38E-06
<b>TOTAL</b>	<b>3,12E-04</b>	<b>7,68E-05</b>	<b>2,64E-06</b>	<b>2,28E-04</b>	<b>1,76E-07</b>	<b>3,49E-06</b>

La Figura 4.3 de manera gráfica los impactos ambientales normalizados para el ciclo de vida. A su vez, la Figura 4.4 presenta los impactos ambientales normalizados pero agrupados por categoría de daños.



**FIGURA 4.3: CONTRIBUCIÓN DE CADA ETAPA DE CICLO DE VIDA PARA CADA CATEGORÍA DE IMPACTO (ECOINDICADOR 99)**



**FIGURA 4.4: DISTRIBUCIÓN DE DAÑOS AMBIENTALES POR CADA ETAPA DE CICLO DE VIDA (ECOINDICADOR 99)**

#### 4.4.2.4. Ponderación

Los resultados normalizados fueron posteriormente ponderados basados en la Tabla 3 expuesta en este mismo Capítulo. Con ellos se pudo convertir los datos a una unidad común sumable que permitió determinar la magnitud de cada carga ambiental. La Tabla 4 del Apéndice A presenta los impactos ponderados, la Tabla 7 a continuación por otro lado indica los impactos ponderados por agrupación en categoría de daños.

**TABLA 7**  
**PONDERACIÓN DE DAÑOS AMBIENTALES DEL CICLO DE VIDA DE LA BATERÍA**

Categoría de impacto	Unidad	Total	Producción de la Batería	Transporte (despacho)	Uso de la batería (consumo)	Transporte (recolección de basura)	Disposición final (Escenario)
Daños a la salud humana	Pt	3,73E-02	9,78E-03	2,08E-04	2,71E-02	1,86E-05	2,15E-04
Daños a los ecosistemas	Pt	5,38E-03	2,57E-03	1,93E-05	2,77E-03	1,82E-06	1,74E-05
Uso de recursos	Pt	5,15E-02	1,13E-02	5,68E-04	3,93E-02	3,28E-05	1,87E-04
<b>TOTAL</b>	<b>Pt</b>	<b>9,42E-02</b>	<b>2,37E-02</b>	<b>7,96E-04</b>	<b>6,92E-02</b>	<b>5,32E-05</b>	<b>4,20E-04</b>

#### 4.4.2.5. Puntuación Única

Los datos anteriormente ponderados fueron sumados para poder obtener la magnitud absoluta del daño y determinar el daño total del ciclo de vida. La Tabla 8 a continuación presenta el porcentaje

de cada daño ambiental (agrupación de impactos) en cada etapa de vida del producto analizado.

**TABLA 8**  
**PORCENTAJE DE CARGA AMBIENTAL PARA ETAPA DEL CICLO DE VIDA DE LA BATERÍA (ECOINDICADOR 99)**

Categoría de impacto	Total	Producción de la Bateria	Transporte (despacho)	Uso de la batería (consumo eléctrico)	Transporte (recolección de basura)	Disposición final (Escenario del residuo)
Daños a la salud humana	39,66%	10,39%	0,22%	28,80%	0,02%	0,23%
Daños a los ecosistemas	5,71%	2,73%	0,02%	2,94%	0,00%	0,02%
Uso de recursos	54,63%	12,04%	0,60%	41,76%	0,03%	0,20%
<b>TOTAL</b>	<b>100,00%</b>	<b>25,15%</b>	<b>0,84%</b>	<b>73,50%</b>	<b>0,06%</b>	<b>0,45%</b>

A través de la Tabla 8 se puede observar que la mayor carga ambiental recae sobre el uso insostenible de recursos, específicamente debido al consumo eléctrico durante la recarga de la batería. También es observable que la etapa de vida que más carga ambiental tiene es precisamente la etapa del uso de la batería debido a su consumo eléctrico.

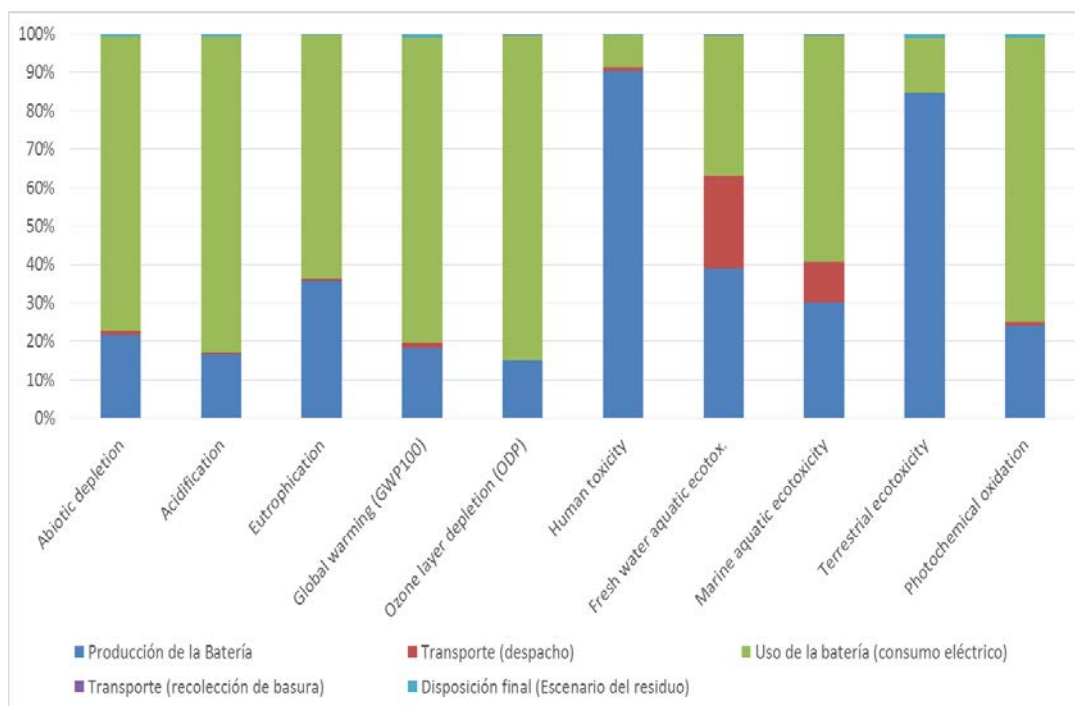
#### **4.4.3. Resultados de Evaluación de Impacto ambiental bajo el método CML 2 baseline 2000**

El análisis de inventario de entradas y salidas, fue de igual manera realizado por medio del CML 2 baseline 2000. Los resultados de la

evaluación fueron obtenidos a través del uso del software Simapro. El programa de ECV permitió evaluar las distintas cargas ambientales. Con este método se caracterizan los resultados de los inventarios para posteriormente normalizarse y evaluarse.

#### **4.4.3.1. Caracterización**

La caracterización consistió en obtener las distintas cargas ambientales por categoría de impacto. Las categorías de impacto que se analizan por medio de este método ya fueron mencionadas con anterioridad en este capítulo. La caracterización de los resultados de inventario de ciclo de vida del producto se pueden observar en la Tabla 1 del Apéndice B. En base a la caracterización de los impactos, el gráfico de la Figura 4.5 a continuación presenta la distribución de cargas ambientales para cada etapa del ciclo de vida de la batería.



**FIGURA 4.5: CONTRIBUCIÓN DE CADA ETAPA DE CICLO DE VIDA PARA CADA CATEGORÍA DE IMPACTO (CML)**

#### 4.4.3.2. Normalización

De modo de poder evaluar las cargas ambientales de cada una de las categorías de impacto, fue necesario normalizar los datos. La Tabla 4 expuesta con anterioridad presenta los valores utilizados por el programa para normalizar y obtener una única unidad global. A diferencia del Eco-indicador, el CML 2 no pondera los resultados, y simplemente evalúa a partir de los impactos normalizados. En la Tabla 2 del Apéndice se presenta la carga

ambiental por categoría de impacto para cada una de las etapas de vida del producto.

Adicionalmente, a partir de los datos normalizados se pudo obtener el porcentaje de la carga ambiental de cada impacto en cada una de las etapas de vida. Dichos porcentajes se presentan en la Tabla 9 a continuación.

**TABLA 9**  
**PORCENTAJE DE CARGA AMBIENTAL POR ETAPA DEL CICLO DE VIDA DE LA BATERÍA (CML)**

Categoría de impacto	Producción de la Batería	Transporte (despacho)	Uso de la batería (consumo eléctrico)	Transporte (recolección de basura)	Disposición final (Escenario del residuo)
Abiotic depletion	21,85%	1,10%	76,32%	0,06%	0,67%
Acidification	16,71%	0,39%	82,17%	0,02%	0,72%
Eutrophication	35,81%	0,51%	63,37%	0,04%	0,28%
Global warming (GWP100)	18,28%	1,16%	79,53%	0,07%	0,96%
Ozone layer depletion (ODP)	15,05%	0,14%	84,33%	0,10%	0,38%
Human toxicity	90,41%	0,82%	8,53%	0,01%	0,22%
Fresh water aquatic ecotox.	39,00%	24,04%	36,51%	0,03%	0,42%
Marine aquatic ecotoxicity	30,11%	10,60%	58,84%	0,03%	0,42%
Terrestrial ecotoxicity	84,75%	0,06%	14,09%	0,01%	1,09%
Photochemical oxidation	24,23%	0,73%	74,13%	0,03%	0,88%

La tabla permite observar que en la mayoría de los impactos ambientales la carga mayor es conducida por el uso de la batería.

# **CAPÍTULO 5**

## **5. ANALISIS E INTERPRETACIÓN DE LA EVALUACION DE IMPACTO AMBIENTAL**

En el presente capítulo se presenta el análisis e interpretación sobre los resultados del ECV y se analizan las limitaciones que se han dado en el transcurso del estudio. Se presenta de igual manera un análisis de sensibilidad de los datos a través de 3 escenarios de residuo adicionales al escenario real manejado sobre la unidad funcional. De igual manera se presenta un análisis de los aspectos significativos exponiéndose una interpretación de cada metodología de evaluación de ciclo de vida del producto.

### **5.1. Limitaciones presentadas en el Análisis de Ciclo de Vida**

Durante la Evaluación de Ciclo de Vida del producto se han presentado algunas limitaciones que afectan directa e indirectamente al grado de certeza del estudio realizado. En el caso de la unidad funcional, ésta fue definida a partir de un celular moderno. Se usaron las especificaciones

correspondientes a una batería Li-ion Motorola con serial BT61-SNN5820A, que tiene aptitudes similares a las otras baterías comunes para estos aparatos electrónicos. Las especificaciones de la unidad funcional, tales como los materiales que utiliza y las cantidades de masa, han servido para la búsqueda en bases de datos. Para este estudio se utilizó entonces los inventarios de una base de datos canadiense que se encuentra en Simapro para la producción completa de la batería de ion-litio con los mismos componentes de la unidad funcional. Al escoger dicha base de datos, se asumía que la unidad funcional tenía las mismas entradas y salidas que la muestra de la base de datos. Sin embargo, los valores de los inventarios podrían haber sido diferentes por lo que otros estudios podrían resultar en valores distintos a los obtenidos en este proyecto. Esta situación consistió en una limitación que ture incertidumbre sobre los datos. Sin embargo, se puede establecer que debido a que el inventario corresponde a una batería con composición similar a la unidad funcional seleccionada, las entradas y salidas pueden considerarse como las mismas.

De igual manera se encontró una limitación significativa sobre los inventarios para la disposición final. En lo que respecta al escenario real del producto analizado, se consideró a la unidad funcional como cantidad másica de modo de poder separar un 25% de la masa como si recibiese un tratamiento como desecho electrónico y el 75% restante como si fuese

un desecho peligroso que fuese a parar al relleno sanitario. La limitación se hallaba en cuanto a que las bases de datos con las que se contaba para realizar el inventario del tratamiento de relleno sanitario, sólo comprendían inventarios para ya sea un desecho doméstico o un desecho peligroso, más no como un desecho electrónico. Por lo cual hubo que elegir como si se tratase de un desecho peligroso en un relleno sanitario, ya que era lo más cercano al impacto que podría acarrear la disposición de la batería en el relleno sanitario. Sin embargo, la composición de la batería corresponde a un nivel de toxicidad distinta a la de un desecho tóxico, por lo cual las magnitudes y los flujos de entrada y salida para esta etapa pueden no ser similares a los obtenidos en otros estudios de mismo tipo. De igual manera, la base de dato era una base europea, lo que se halla fuera de los requisitos de calidad establecidos al inicio del ECV, y esto puede traer consigo un error sistemático en la evaluación de los impactos, debido a que Europa contiene una tecnología más limpia que nuestro país, específicamente la ciudad de Guayaquil.

## **5.2. Chequeo sensibilidad por incertidumbre sobre las limitaciones en los datos**

Con el fin de evaluar hasta qué punto podría mejorarse la situación de la disposición final de la batería, se ha llevado un análisis de sensibilidad sobre el escenario de residuo (o desecho) que ocurre en la región. Para

poder constatar que el escenario planteado conlleva a un impacto que pudiera ser reducido, se diseñó un análisis comparativo de dicho escenario con otros tres escenarios alternos. Es decir, se ha evaluado los ciclos de vida de la batería de manera que esta tuviese cuatro escenarios de residuos diferentes. Esta evaluación se realizó a través del método del Ecoindicador por medio de puntuación única. Los cuatro escenarios se enlistan y describen a continuación en la Tabla 10.

**TABLA 10**  
**DESCRIPCION DE ESCENARIOS DE RESIDUO**

Escenario	Descripción	Tipo de Tratamiento de Desecho
1	Escenario real utilizado en la región	25% electrónico con tecnología mixta/ 75% disposición al relleno sanitario
2	Escenario ideal	100% electrónico con tecnología mixta
3	Escenario crítico	100% disposición al relleno sanitario
4	Escenario adverso al real	75% electrónico con tecnología mixta/ 25% disposición al relleno sanitario

Los escenarios mostrados en la Tabla 10, muestra escenarios diferentes al real de modo que se pueda observar como cambiaría la carga ambiental en caso de que se llevara un tratamiento de desechos diferente. Por ejemplo, idealmente si se llevara a cabo por completo un tratamiento para desechos electrónicos con todas las baterías el impacto actual se

esperaría que se reduzca. En un escenario crítico por otro lado, teniendo las peores condiciones a las que se podría llevar a cabo la disposición final de una batería, se estimaría una carga ambiental mayor que la que existe actualmente en la región. Adicionalmente, un escenario adverso, permitiría comprobar que ocurriría si el escenario fuese opuesto a lo que ocurre realmente en la región.

La Tabla 1 del Apéndice C, presenta los resultados de la evaluación del impacto de ciclo de vida considerando en ellos cada escenario. Los resultados fueron evaluados a través de la metodología del Eco-indicador 99 por medio de puntuación única. A partir de la dicha tabla se ha elaborado el gráfico de la Figura 5.1 con el fin de observar gráficamente los resultados de este análisis de sensibilidad. En dicho gráfico se puede constatar que un escenario ideal conlleva una menor carga ambiental que el escenario real. De igual manera, se observa que frente a un escenario opuesto al real, el impacto es menos significativo. En cuanto a un escenario de residuo crítico, se distingue una carga ambiental mayor.

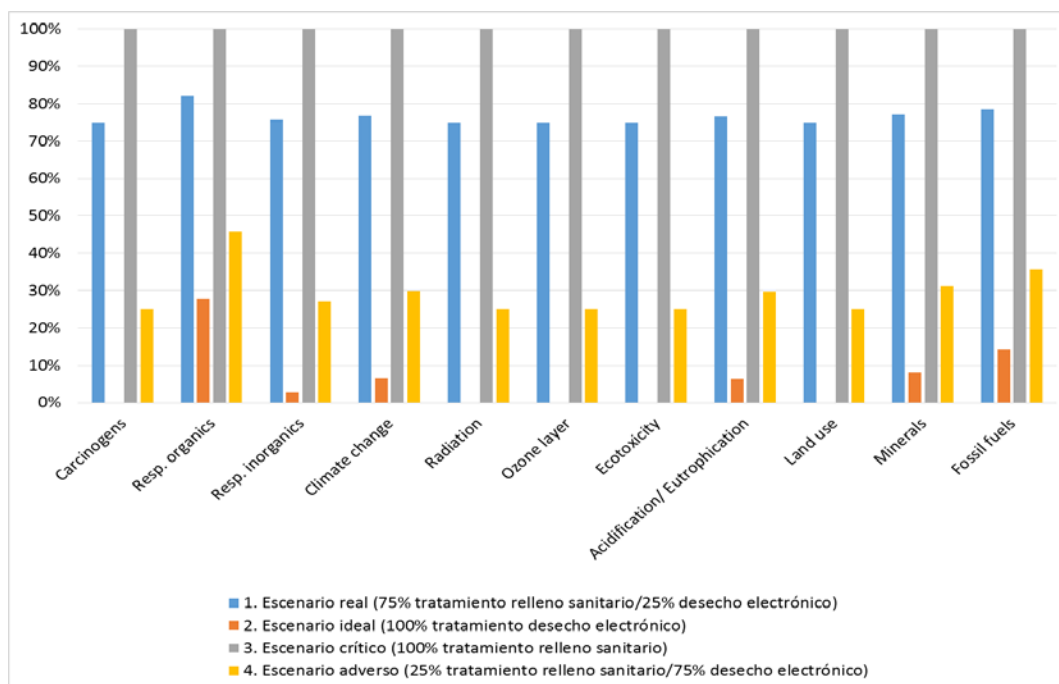


FIGURA 5.1: COMPARACIÓN DE LOS ESCENARIO DE RESIDUO PARA LA BATERÍA ION LITIO

Analizando los impactos más críticos para la salud humana como son la emisión de Carcinógenos con un escenario adverso se reduciría a la tercera parte el nivel de carga ambiental, mientras que la emisión de particulado orgánico se reduce a casi la mitad. Por el lado de los daños a la calidad del ecosistema y a los recursos abióticos, un escenario opuesto al actual reduciría el impacto en todos los casos a menos de la mitad de la actual.

A partir de este análisis de sensibilidad se puede verificar que al variar el escenario de residuo a un tratamiento más adecuado para el residuo, la

carga ambiental en la etapa de disposición final de la batería podría reducirse.

### **5.3. Análisis de los aspectos significativos e interpretación de los Resultados de Evaluación de Impacto ambiental bajo el Eco-indicador 99**

Los resultados del estudio a través del método del Eco-indicador 99 permitieron conocer en general de los impactos ambientales sobre la salud humana, sobre la calidad del ecosistema y sobre sus recursos. En la Tabla 8 presentada en el Capítulo 4 se presenta el porcentaje de daño ambiental de cada una de las etapas de vida de la batería obtenida de la puntuación única de los impactos.

Los datos permiten observar que existe un mayor impacto ambiental originado por el uso de la batería que corresponde al consumo de energía eléctrica durante la recarga de la misma. El valor corresponde a un 73,50% de acuerdo a la Puntuación Única del Ecoindicador. En cuanto al tipo de impacto, el daño ambiental del ciclo de vida total de la batería recae sobre el uso insostenible de los recursos con un 54,63%, por otro lado más de un tercio del impacto ambiental ocurre también sobre la salud humana.

En cuanto al nivel de impacto en la región que trae consigo las etapas de uso, de transporte de recolección de basura, y de disposición final de la batería; las tres significan un total del 74,01% de la carga total del ciclo de

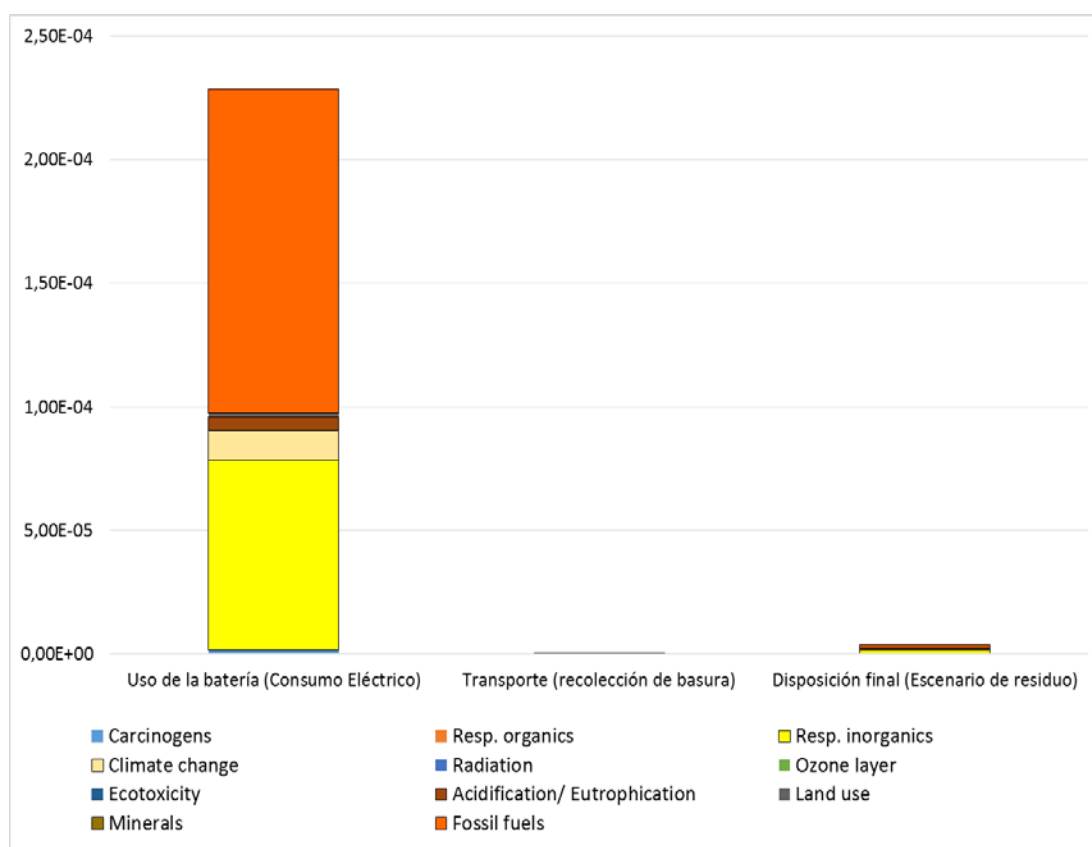
vida según la puntuación única. En la región, el uso de la batería significa un 99,31% del impacto. El impacto ocasionado por el escenario de residuo sólo comprende a un 0,6%. Contrario a lo que se pensó inicialmente en este trabajo, los daños ambientales debido a la etapa de disposición final de la batería son mínimos en contraste con el uso de la batería. La Tabla 11 a continuación presenta la carga ambiental en la región, y en ella se observa que el uso de la batería, en comparación con las otras dos etapas, conlleva a un impacto mucho más significativo para cada categoría de impacto.

**TABLA 11**  
**IMPACTOS AMBIENTALES DE LAS ETAPAS DEL CICLO DE VIDA DE LA BATERÍA EN LA REGIÓN (ECOINDICADOR 99)**

Categoría de impacto	Unidad	Uso de la batería (Consumo Eléctrico)	Transporte (recolección de basura)	Disposición final (Escenario de residuo)
Carcinogens	DALY	1,37E-08	5,44E-12	3,56E-10
Resp. organics	DALY	2,17E-10	1,84E-12	3,09E-12
Resp. inorganics	DALY	6,72E-07	4,45E-10	4,63E-09
Climate change	DALY	1,06E-07	9,06E-11	1,29E-09
Radiation	DALY	6,23E-11	1,27E-13	1,45E-11
Ozone layer	DALY	5,77E-11	6,79E-14	2,63E-13
Ecotoxicity	PDF*m2yr	1,37E-03	4,90E-06	9,01E-05
Acidification/ Eutrophic	PDF*m2yr	3,09E-02	1,64E-05	1,18E-04
Land use	PDF*m2yr	7,37E-03	4,70E-06	4,04E-05
Minerals	MJ surplus	8,76E-04	1,36E-06	2,75E-04
Fossil fuels	MJ surplus	9,88E-01	8,24E-04	4,43E-03

Adicionalmente, en el gráfico de la Figura 5.2 se puede ver, a través de puntuación única, que los dos principales impactos ambientales se dan por el consumo de combustibles fósiles correspondiente a un uso insostenible

de tales recursos abióticos, y un daño a la salud humana derivado de las emisiones de particulados inorgánicos al aire.



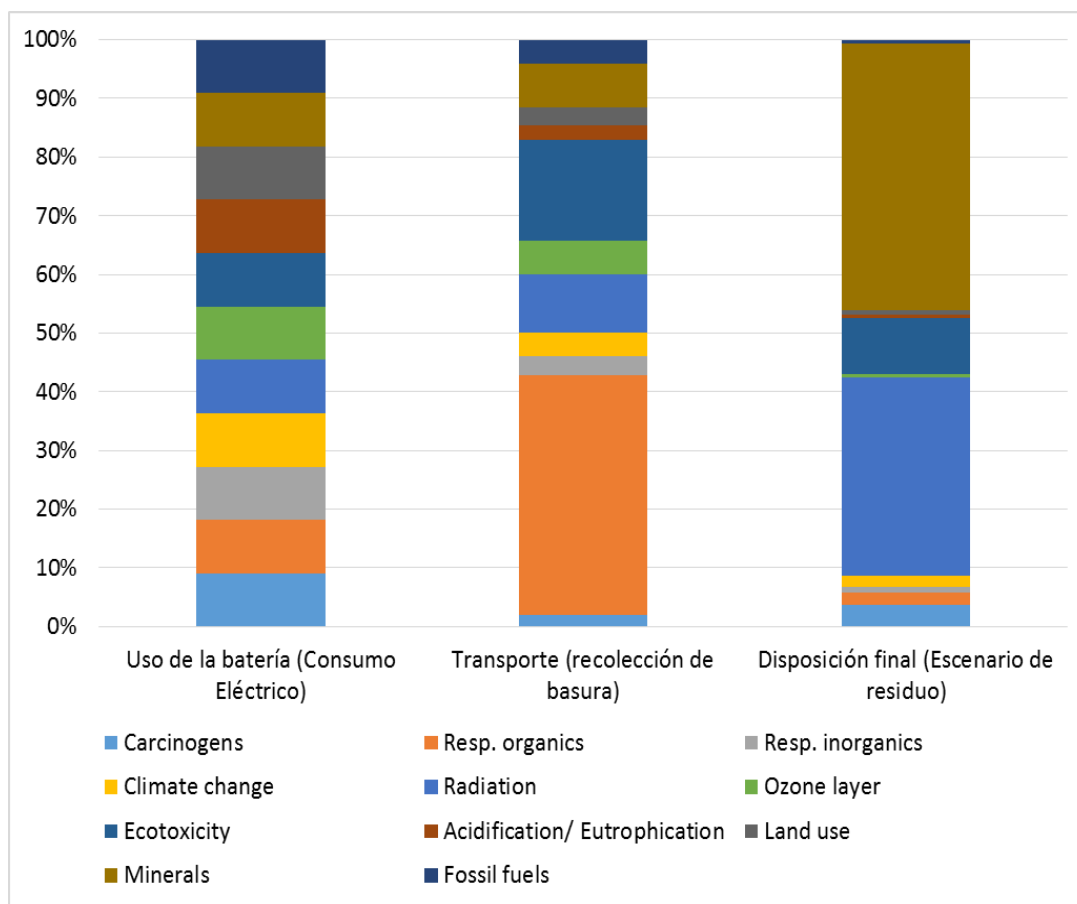
**FIGURA 5.2: GRÁFICO DE CARGAS AMBIENTALES EN LA REGIÓN  
PRODUCIDAS POR LA BATERÍA ION LITIO**

El peso mayor de aquellos dos impactos se puede comprender con el hecho que la etapa del uso de la batería corresponde cargar la batería, es decir, consumir energía eléctrica. Aquel consumo energético por parte de la batería está directamente relacionado con la producción de energía

eléctrica en el país y por lo tanto sus impactos ambientales también están relacionados entre sí. Los valores de los inventarios del consumo eléctrico se pueden considerar como válidos ya que la base de datos es actual y de la región proveniente de un estudio de ciclo de vida sobre el sector eléctrico ecuatoriano recientemente llevado a cabo por PhD Ángel Ramírez, Ms Jorge Duque, e investigadores de la Escuela Superior Politécnica del Litoral y del Instituto Nacional de Eficiencia Energética y Energías Renovables (33).

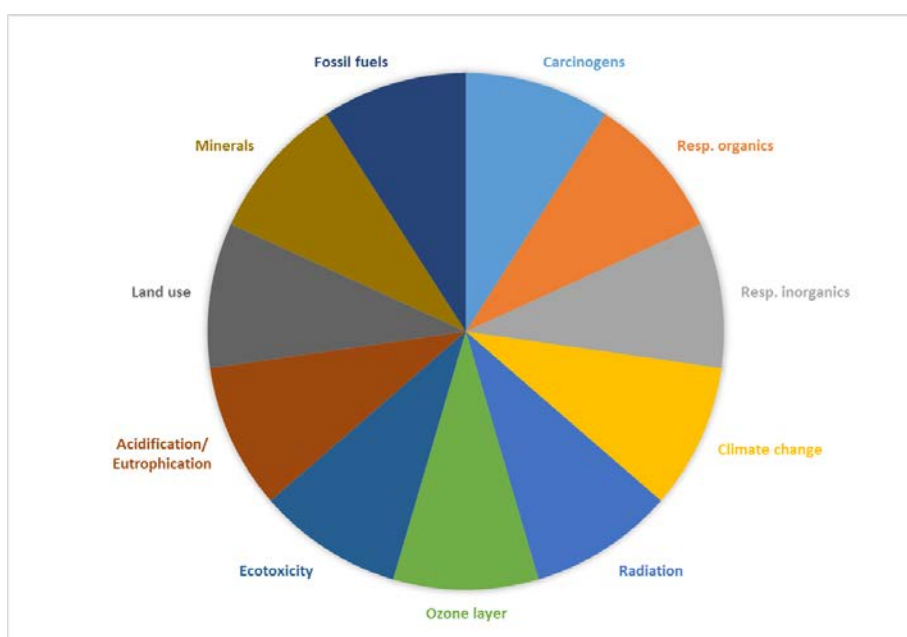
De igual manera, se puede observar como el impacto de la disposición final junto con el transporte son casi imperceptibles. No obstante pese a que el efecto de la disposición final es mínimo, de acuerdo con Olivetti, Gregory y Kirchain (2010) en su ECV orientada a la etapa de vida final de una batería alcalina, la carga ambiental que trae el desecho de la batería no se debe subestimar (30).

Por otro lado, la Figura 5.3 presenta gráficamente el peso de cada impacto ambiental para cada una de las tres etapas de vida que ocurren en la región. En ésta se puede observar que en lo correspondiente al uso de la batería, los distintos impactos ambientales son afectados casi de igual manera por dicha etapa.



**FIGURA 5.3: CONTRIBUCION DE IMPACTO AMBIENTAL EN CADA ETAPA DE CICLO DE VIDA EN LA REGION PARA LA BATERÍA ION LITIO (ECOINDICADOR 99)**

La figura 5.4 muestra gráficamente cómo la etapa del uso de la batería contribuye con todas las cargas ambientales de manera pareja. Esto quiere decir que esta etapa contribuye de igual manera tanto a la salud humana como a la calidad del ecosistema y al agotamiento de los recursos.

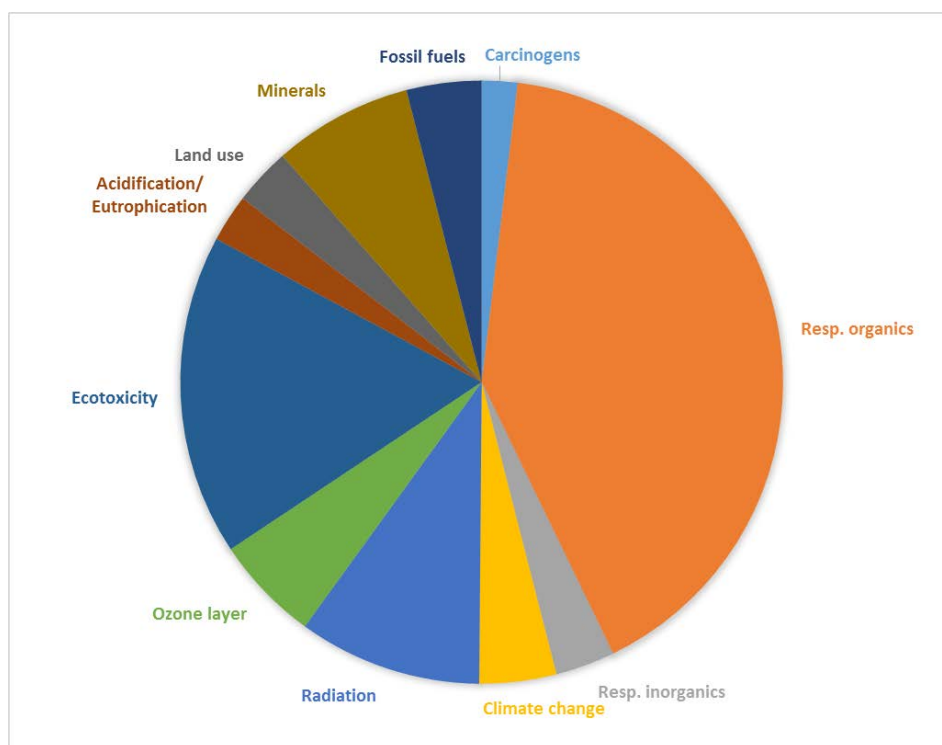


*FIGURA 5.4: CONTRIBUCION DE IMPACTO AMBIENTALES EN LA ETAPA DE USO*

Sin embargo, regresando a observar la figura 5.2 se pudo observar que en lo correspondiente a todo el ciclo de vida, la carga ambiental que más llama la atención en este estudio es el daño a las vías respiratorias por particulados inorgánicos liberados en ésta etapa, y el agotamiento de los combustibles fósiles para la producción de energía eléctrica.

En lo correspondiente al transporte de recolección de basura, el mayor peso del impacto ambiental ocurre con los impactos de la emisión de particulados orgánicos y la Ecotoxicidad, ambos impactos que afectan a la salud humana y a la calidad del medio ambiente, respectivamente. De igual manera, la salud humana se está también viendo afectada por parte de las Radiaciones ionizantes que inciden en tercer lugar como impacto

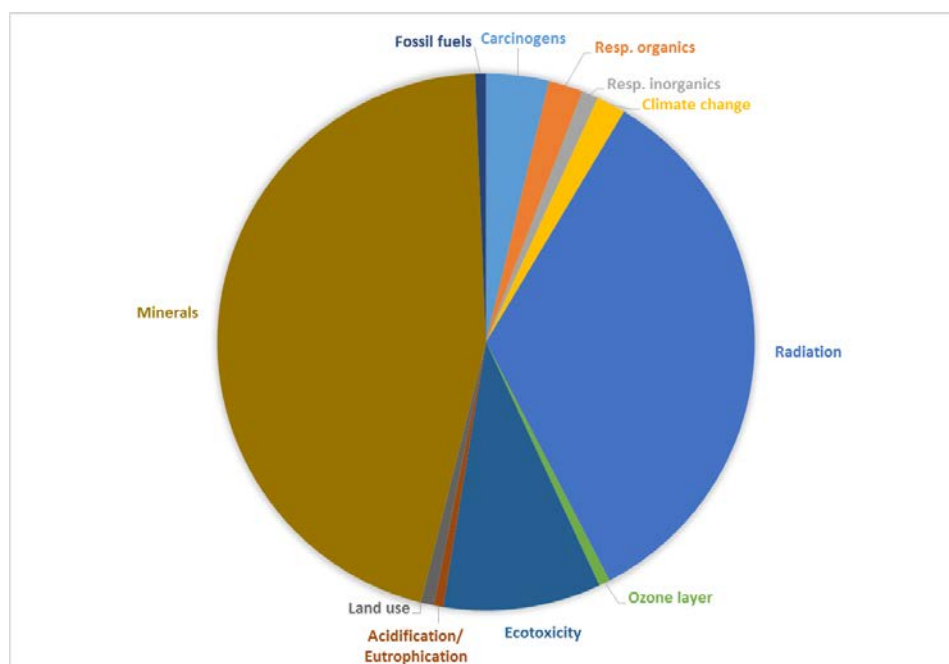
por parte de esta etapa de vida del producto. Esto se lo puede cerciorar en la Figura 5.5 a continuación.



**FIGURA 5.5: CONTRIBUCION DE IMPACTO AMBIENTALES EN LA ETAPA DE TRANSPORTE DE RECOLECCION DE BASURA**

Por otro lado, en cuando a la contribución de la disposición final de la batería en la región, la mayor carga ambiental está dada por el agotamiento de los minerales que afecta directamente con un daño al agotamiento de los recursos abióticos de la región. De igual manera la salud humana se está viendo afectada por radiaciones ionizantes derivadas del escenario de residuo seguido en la región. En cuanto a la

calidad del ecosistema, la etapa de disposición final está afectando al ecosistema principalmente a través de Ecotoxicidad. Esta situación es observable en la Figura 5.6 a continuación.

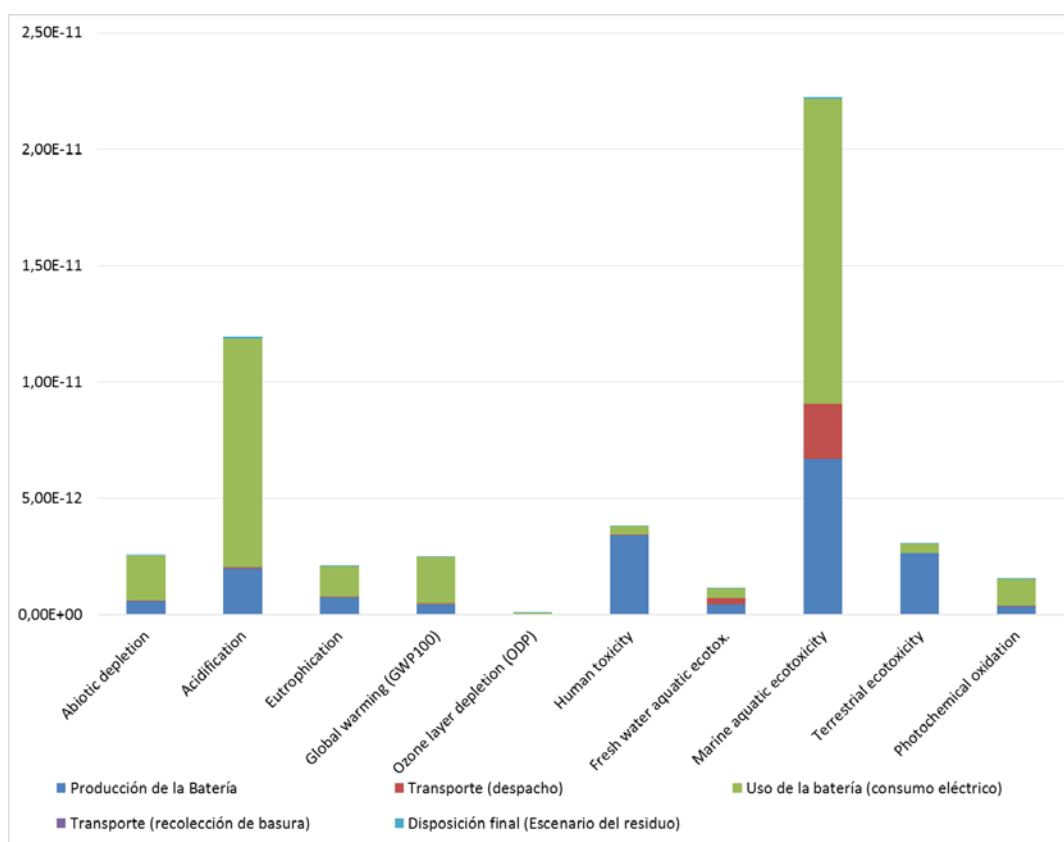


**FIGURA 5.6: CONTRIBUCION DE IMPACTOS AMBIENTALES EN LA ETAPA DE DISPOSICIÓN FINAL DE LA BATERÍA**

#### **5.4. Análisis de los aspectos significativos e interpretación de los resultados de Evaluación de Impacto Ambiental bajo el CML baseline 2000**

Los resultados del estudio a través del método CML que se enfoca en los efectos intermedios, permitieron conocer los impactos ambientales sobre la salud humana, sobre la calidad del ecosistema y sobre sus recursos. En la Tabla 9 presentada en el Capítulo 4 se presenta el porcentaje de carga ambiental de cada una de las etapas de vida de la batería para cada categoría de impacto. En su mayoría, la etapa del uso de la batería tiene el mayor peso en distintos impactos ambientales. Los dos impactos ambientales donde el uso de la batería tiene un mayor peso son en el agotamiento de la capa de ozono y en la acidificación, lo que significa que se está afectando a la calidad del ecosistema. Por otro lado la etapa de producción de la batería consiste en un impacto mayor sobre la toxicidad humana y la Ecotoxicidad terrestre.

La Figura 5.7 presenta gráficamente la carga ambiental de cada categoría de impacto y etapa del ciclo de vida de los valores normalizados de cada impacto ambiental. La figura muestra gráficamente que para los datos normalizados, dentro de cada categoría de impacto, en la mayoría de estos el uso de la batería es mayor, los procesos de disposición final y de transporte de recolección de basura son casi imperceptibles en comparación con los demás procesos.



**FIGURA 5.7: GRÁFICO DE CARGA DE IMPACTOS AMBIENTALES DEL CICLO DE VIDA DE LA BATERÍA (CML)**

En relevancia con lo anterior, cabe evaluar el nivel de impacto en la región que traen consigo las etapas de uso, de transporte de recolección de basura, y de disposición final de la batería. De acuerdo con la Tabla 9 los impactos ambientales donde las tres etapas tienen un peso mayor son en el Agotamiento de la capa de ozono con un 84,81%; la acidificación con un 82,91%; y el Calentamiento global con un 80,56%. Sin embargo, los impactos ambientales menos significativos en la región son la toxicidad

humana y la Ecotoxicidad terrestre, ya que son impactos en los que la producción de la batería tiene más peso, y esto es visible en la Figura 5.7. Sin embargo, entre las tres etapas en la región; la etapa del uso de la batería tiene más peso en todas las categorías de impacto.

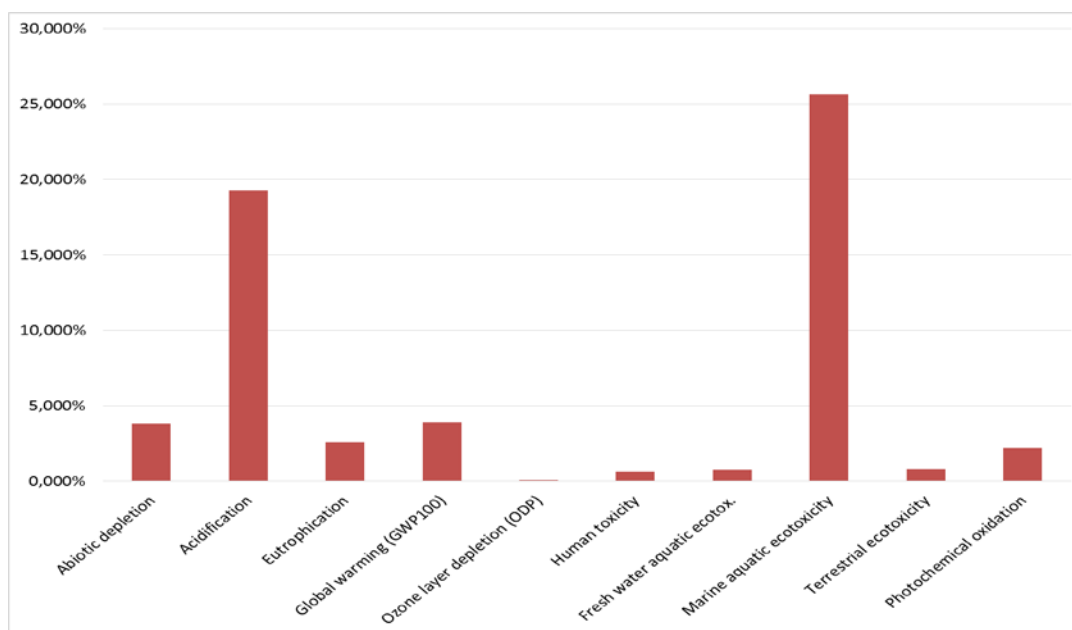
La Tabla 12 a continuación presenta el impacto ambiental de las etapas de la batería que ocurren en la ciudad, donde se observa que el uso de la batería, en comparación con las otras dos etapas, conlleva a un impacto mayor para cada categoría de impacto.

TABLA 12  
IMPACTOS AMBIENTALES DE LAS ETAPAS DEL CICLO DE VIDA DE LA  
BATERÍA EN LA REGIÓN (CML)

Categoría de impacto	Unidad	Uso de la batería (consumo eléctrico)	Transporte (recolección de basura)	Disposición final (Escenario del residuo)
Abiotic depletion	kg Sb eq	3,35E-03	2,76E-06	2,93E-05
Acidification	kg SO <sub>2</sub> eq	6,60E-03	1,91E-06	5,76E-05
Eutrophication	kg PO <sub>4</sub> <sup>---</sup> eq	6,65E-04	3,95E-07	2,92E-06
Global warming (GWP100)	kg CO <sub>2</sub> eq	5,05E-01	4,32E-04	6,12E-03
Ozone layer depletion (ODP)	kg CFC-11 eq	5,49E-08	6,47E-11	2,50E-10
Human toxicity	kg 1,4-DB eq	6,08E-02	8,45E-05	1,57E-03
Fresh water aquatic ecotox.	kg 1,4-DB eq	3,11E-03	2,52E-06	3,55E-05
Marine aquatic ecotoxicity	kg 1,4-DB eq	4,17E+01	2,05E-02	2,95E-01
Terrestrial ecotoxicity	kg 1,4-DB eq	3,99E-04	3,35E-07	3,10E-05
Photochemical oxidation	kg C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> eq	2,09E-04	7,41E-08	2,48E-06

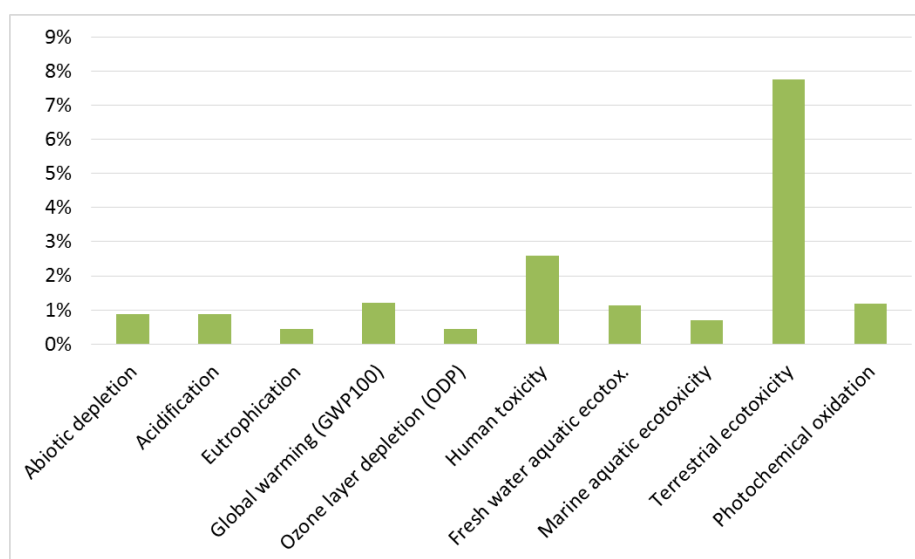
El uso de la batería a nivel de la región tiene por lo tanto mayor peso. Esta etapa de la vida de la batería afecta específicamente en la Ecotoxicidad

marina y la acidificación, como se mencionó anteriormente y como se puede observar en la Figura 5.8 a continuación.



*FIGURA 5.8: CONTRIBUCION DE IMPACTOS AMBIENTALES POR EL USO DE LA BATERÍA (CML)*

Por otro lado los impactos ocasionados por el escenario de residuo comprenden una carga mucho menor en comparación con el uso de la batería. Los resultados con el CML baseline 2000 muestran que al igual que a través del Eco-indicador 99, la disposición final de la batería comprende un mínimo impacto en la región en contraste con el impacto que trae consigo el uso de la batería. Sin embargo, pese a que el impacto total de dicha etapa es bajo, no puede ser despreciada.



*FIGURA 5.9: CONTRIBUCIÓN DE IMPACTOS AMBIENTALES EN LA DISPOSICION FINAL DE LA BATERÍA (CML)*

En la Figura 5.9 se muestra gráficamente la contribución de impactos ambientales para la etapa de disposición final de la batería. En esta etapa, la mayor carga ambiental se encuentra dada por los impactos por Ecotoxicidad terrestre y por Toxicidad humana. La Ecotoxicidad terrestre como impacto acarrea un daño a la calidad del ecosistema y a los recursos abióticos, mientras que la Toxicidad humana trae consigo un impacto a la salud humana.

En conjunto con lo analizado a través del Ecoindicador 99 y del CML 2 baseline 2000, se observa que la etapa que mayormente contribuye a distintos daños ambientales es el uso de la batería. Respecto a la disposición final del producto no presenta mayor impacto en comparación

con su uso. De acuerdo con Chin Ning (2005), en su reporte de ECV sobre las partes de los teléfonos móviles, el caso de las baterías al ser desechadas no representan un alto impacto en comparación con el impacto total del teléfono. Basándose en el Ecoindicador, la mayor carga ambiental de acuerdo a Chin se debe al agotamiento de los combustibles fósiles que son utilizados para la generación eléctrica durante la recarga de la batería del teléfono como también durante las fases de producción. De igual manera, el daño a las vías respiratorias es considerable que son producto de la emisión de particulados inorgánicos que perjudiciales para la salud humana (7). El presente estudio apunta en la misma dirección, y es observable en el análisis por el Ecoindicador que el uso de la batería afecta principalmente a la salud humana y al agotamiento de los recursos abióticos.

Adicionalmente, Amarakoon y colegas con auspicio del EPA (2013), en el reporte del ECV a baterías ion-litio para carros eléctricos, indican que en el caso de una batería ion-litio con características similares al producto de este estudio, el daño al ecosistema es leve debido a su gran capacidad de almacenar energía. Agregan no obstante, durante el uso de la batería contribuye en un 91,9% a la acidificación y 40% al agotamiento de la capa de ozono en comparación con el resto de las etapas de la vida de la batería (1). En este estudio, es observable que los resultados a través del CML 2,

permiten observar que la etapa de uso de la batería afecta altamente a la acidificación y al agotamiento de la capa de ozono.

# CAPÍTULO 6

## 6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 6.1. Conclusiones

A través de este escrito se pudo llevar a las siguientes conclusiones:

1. La etapa del ciclo de vida de la batería ion litio que causa un mayor impacto en el ambiente es el uso de la batería que corresponde al consumo eléctrico para cargarla. La siguiente etapa con impacto significativo es la producción de la batería, etapa que no ocurre en la región. El hecho que el uso de la batería sea el impacto más significativo del ciclo de vida es importante ya que dicha etapa ocurre en la región, y por lo tanto es dentro de éste ámbito que se deberían tomar medidas con el fin de mitigar o reducir la carga ambiental liberada por el consumo eléctrico de las baterías. Desde una perspectiva enfocada a efectos intermedios, se puede concluir que la etapa del uso de la batería trae consigo un impacto a un uso no sostenible de los recursos abióticos. El impacto total no es fácilmente mitigable desde nivel de la comunidad puesto que el uso de la

batería viene directamente del consumo eléctrico lo cual conlleva a los impactos por la producción de tal energía consumida en el país.

2. Al inicio de este estudio se tenía pretendía observar hasta qué punto la etapa de disposición final podría afectar al medio. Se tuvo como premisa que dicha etapa era la más perjudicial dentro de la región. Sin embargo, contrario a lo que se esperaba en el objetivo inicial de este trabajo, la disposición final de la batería no tenía impactos altos. Esto se debe a que en comparación con el uso de la batería, el escenario del residuo tenía una carga ambiental mucho menor. Sin embargo, analizando los resultados desde una perspectiva enfocada a efectos intermedios, se puede concluir que la calidad del ecosistema se ve bastante afectada debido a la etapa de disposición final de la batería.
3. Se puede agregar también que los impactos ambientales ocasionados por la etapa de disposición final debido al escenario de residuo seguido en la región podría mitigarse si se llevara a cabo un escenario de residuo más adecuado como por ejemplo un tratamiento completo de desecho electrónico.
4. Respecto a la metodología, se pudo concluir que ésta permite poder interpretar los resultados en cada proceso por separado con el fin de lograr inferir en que proceso existe la mayor carga ambiental. El trabajo del análisis de inventarios y de la evaluación de los resultados puede ser

facilitado con el uso del software SimaPro versión 7, el cual resulta ser bastante efectivo por su variedad de base de datos.

## **6.2. Recomendaciones**

A partir de las conclusiones y de las limitaciones planteadas en el capítulo 5 se recomienda los siguientes puntos:

1. Se recomienda que dentro de la selección de inventario de entradas y salidas para cada etapa de vida de un producto se seleccione el más viable de acuerdo a la región geográfica y a la tecnología, caso contrario es recomendable la realización de un análisis de sensibilidad para poder constatar que pese a que los flujos no sean similares, la carga ambiental será equivalente.
2. Se recomienda la creación de campañas de concientización con el fin de educar a la ciudadanía sobre el impacto ambiental que conlleva el hecho de desechar una batería como desecho sólido común. La campaña podría iniciar por la universidad, informando a los estudiantes en vista que los jóvenes son muchos de los que podrían contribuir a reducir y mitigar dicho impacto ambiental sobre la región.
3. Se puede también buscar métodos alternativos al tratamiento de desechos electrónicos como es el encapsulamiento de baterías en bloques de concreto, denominados ladrillos ecológicos. Este tipo de método ha sido

seguido en la última década por ciudades mexicanas y argentinas con el fin de reducir el impacto por parte del desecho de las baterías (12).

# APÉNDICES

# APÉNDICE A

## EVALUACION POR ECO-INDICADOR 99

TABLA 1

CARACTERIZACIÓN DE IMPACTOS AMBIENTALES PARA EL CICLO DE VIDA DE LA BATERÍA

Categoría de impacto	Unidad	Total	Producción de la Bateria	Transporte	Uso de la batería (consumo eléctrico)	Transporte	Disposición final (Escenario del residuo)
Carcinogens	DALY	9,19E-08	7,77E-08	1,76E-10	1,37E-08	5,44E-12	3,56E-10
Resp. organics	DALY	4,42E-10	2,07E-10	1,42E-11	2,17E-10	1,84E-12	3,09E-12
Resp. inorganics	DALY	8,65E-07	1,83E-07	4,35E-09	6,72E-07	4,45E-10	4,63E-09
Climate change	DALY	1,33E-07	2,44E-08	1,54E-09	1,06E-07	9,06E-11	1,29E-09
Radiation	DALY	2,94E-10	2,17E-10	6,98E-13	6,23E-11	1,27E-13	1,45E-11
Ozone layer	DALY	6,86E-11	1,04E-11	9,68E-14	5,77E-11	6,79E-14	2,63E-13
Ecotoxicity	PAF*m2yr	3,30E-01	3,15E-01	2,29E-04	1,37E-02	4,90E-05	9,01E-04
Acidification/ Eutrophication	PDF*m2yr	3,44E-02	3,16E-03	2,37E-04	3,09E-02	1,64E-05	1,18E-04
Land use	PDF*m2yr	9,52E-03	2,09E-03	1,60E-05	7,37E-03	4,70E-06	4,04E-05
Minerals	MJ surplus	1,43E-01	1,42E-01	9,89E-06	8,76E-04	1,36E-06	2,75E-04
Fossil fuels	MJ surplus	1,15E+00	1,43E-01	1,43E-02	9,88E-01	8,24E-04	4,43E-03

TABLA 2

EVALUACIÓN DE DAÑOS DEL CICLO DE VIDA DE LA BATERÍA

Categoría de impacto	Unidad	Total	Producción de la Bateria	Transporte	Uso de la batería (consumo eléctrico)	Transporte	Disposición final (Escenario del residuo)
Carcinogens	DALY	9,19E-08	7,77E-08	1,76E-10	1,37E-08	5,44E-12	3,56E-10
Resp. organics	DALY	4,42E-10	2,07E-10	1,42E-11	2,17E-10	1,84E-12	3,09E-12
Resp. inorganics	DALY	8,65E-07	1,83E-07	4,35E-09	6,72E-07	4,45E-10	4,63E-09
Climate change	DALY	1,33E-07	2,44E-08	1,54E-09	1,06E-07	9,06E-11	1,29E-09
Radiation	DALY	2,94E-10	2,17E-10	6,98E-13	6,23E-11	1,27E-13	1,45E-11
Ozone layer	DALY	6,86E-11	1,04E-11	9,68E-14	5,77E-11	6,79E-14	2,63E-13
Ecotoxicity	PDF*m2yr	3,30E-02	3,15E-02	2,29E-05	1,37E-03	4,90E-06	9,01E-05
Acidification/ Eutrophication	PDF*m2yr	3,44E-02	3,16E-03	2,37E-04	3,09E-02	1,64E-05	1,18E-04
Land use	PDF*m2yr	9,52E-03	2,09E-03	1,60E-05	7,37E-03	4,70E-06	4,04E-05
Minerals	MJ surplus	1,43E-01	1,42E-01	9,89E-06	8,76E-04	1,36E-06	2,75E-04
Fossil fuels	MJ surplus	1,15E+00	1,43E-01	1,43E-02	9,88E-01	8,24E-04	4,43E-03

TABLA 3  
NORMALIZACIÓN DE IMPACTOS

Categoría de impacto	Total	Producción de la Batería	Transporte (despacho)	Uso de la batería (consumo eléctrico)	Transporte (recolección de basura)	Disposición final (Escenario del residuo)
Carcinogens	1,06E-05	8,87E-06	2,01E-08	1,56E-06	6,20E-10	1,22E-07
Resp. organics	5,08E-08	2,36E-08	1,62E-09	2,47E-08	2,10E-10	6,84E-10
Resp. inorganics	9,97E-05	2,09E-05	4,97E-07	7,67E-05	5,07E-08	1,49E-06
Climate change	1,54E-05	2,78E-06	1,76E-07	1,21E-05	1,03E-08	3,84E-07
Radiation	3,69E-08	2,47E-08	7,97E-11	7,11E-09	1,45E-11	4,98E-09
Ozone layer	7,88E-09	1,19E-09	1,10E-11	6,58E-09	7,75E-12	9,00E-11
Ecotoxicity	5,79E-06	5,50E-06	4,00E-09	2,40E-07	8,57E-10	4,73E-08
Acidification/ Eutrophication	6,05E-06	5,52E-07	4,15E-08	5,40E-06	2,86E-09	5,44E-08
Land use	1,68E-06	3,65E-07	2,80E-09	1,29E-06	8,22E-10	2,12E-08
Minerals	1,90E-05	1,88E-05	1,31E-09	1,16E-07	1,80E-10	9,25E-08
Fossil fuels	1,53E-04	1,90E-05	1,89E-06	1,31E-04	1,09E-07	1,35E-06
<b>TOTAL</b>	<b>3,12E-04</b>	<b>7,68E-05</b>	<b>2,64E-06</b>	<b>2,28E-04</b>	<b>1,76E-07</b>	<b>3,57E-06</b>

TABLA 4  
PONDERACIÓN DE DAÑOS

Categoría de impacto	Unidad	Total	Producción de la Batería	Transporte (despacho)	Uso de la batería (consumo eléctrico)	Transporte (recolección de basura)	Disposición final (Escenario del residuo)
Carcinogens	Pt	3,15E-03	2,66E-03	6,02E-06	4,69E-04	1,86E-07	1,22E-05
Resp. organics	Pt	1,51E-05	7,07E-06	4,87E-07	7,41E-06	6,29E-08	1,06E-07
Resp. inorganics	Pt	2,96E-02	6,27E-03	1,49E-04	2,30E-02	1,52E-05	1,59E-04
Climate change	Pt	4,56E-03	8,35E-04	5,27E-05	3,63E-03	3,10E-06	4,40E-05
Radiation	Pt	1,01E-05	7,42E-06	2,39E-08	2,13E-06	4,36E-09	4,98E-07
Ozone layer	Pt	2,35E-06	3,57E-07	3,31E-09	1,98E-06	2,32E-09	9,00E-09
Ecotoxicity	Pt	2,30E-03	2,20E-03	1,60E-06	9,60E-05	3,43E-07	6,30E-06
Acidification/ Eutrophication	Pt	2,41E-03	2,21E-04	1,66E-05	2,16E-03	1,15E-06	8,28E-06
Land use	Pt	6,66E-04	1,46E-04	1,12E-06	5,15E-04	3,29E-07	2,82E-06
Minerals	Pt	5,68E-03	5,63E-03	3,93E-07	3,48E-05	5,39E-08	1,09E-05
Fossil fuels	Pt	4,58E-02	5,70E-03	5,68E-04	3,93E-02	3,28E-05	1,76E-04
<b>TOTAL</b>	<b>Pt</b>	<b>9,42E-02</b>	<b>2,37E-02</b>	<b>7,96E-04</b>	<b>6,92E-02</b>	<b>5,32E-05</b>	<b>4,20E-04</b>

## APÉNDICE B

### EVALUACION POR CML 2 BASELINE 2000

TABLA 1

CARACTERIZACIÓN DE IMPACTOS AMBIENTALES PARA EL CICLO DE VIDA DE LA BATERÍA

Categoría de impacto	Unidad	Total	Producción de la Bateria	Transporte (despacho)	Uso de la batería (consumo eléctrico)	Transporte (recolección de basura)	Disposición final (Escenario del residuo)
Abiotic depletion	kg Sb eq	4,38E-03	9,58E-04	4,82E-05	3,35E-03	2,76E-06	2,93E-05
Acidification	kg SO2 eq	8,03E-03	1,34E-03	3,10E-05	6,60E-03	1,91E-06	5,76E-05
Eutrophication	kg PO4--- eq	1,05E-03	3,76E-04	5,35E-06	6,65E-04	3,95E-07	2,92E-06
Global warming (GWP100)	kg CO2 eq	6,35E-01	1,16E-01	7,35E-03	5,05E-01	4,32E-04	6,12E-03
Ozone layer depletion (ODP)	kg CFC-11 eq	6,51E-08	9,80E-09	9,22E-11	5,49E-08	6,47E-11	2,50E-10
Human toxicity	kg 1,4-DB eq	7,12E-01	6,44E-01	5,86E-03	6,08E-02	8,45E-05	1,57E-03
Fresh water aquatic ecotox.	kg 1,4-DB eq	8,52E-03	3,32E-03	2,05E-03	3,11E-03	2,52E-06	3,55E-05
Marine aquatic ecotoxicity	kg 1,4-DB eq	7,09E+01	2,13E+01	7,51E+00	4,17E+01	2,05E-02	2,95E-01
Terrestrial ecotoxicity	kg 1,4-DB eq	2,83E-03	2,40E-03	1,60E-06	3,99E-04	3,35E-07	3,10E-05
Photochemical oxidation	kg C2H4 eq	2,81E-04	6,82E-05	2,07E-06	2,09E-04	7,41E-08	2,48E-06

TABLA 2

IMPACTOS AMBIENTALES NORMALIZADOS DEL CICLO DE VIDA DE LA BATERÍA

Categoría de impacto	Total	Producción de la Bateria	Transporte (despacho)	Uso de la batería (consumo eléctrico)	Transporte (recolección de basura)	Disposición final (Escenario del residuo)
Abiotic depletion	2,56E-12	5,60E-13	2,82E-14	1,96E-12	1,62E-15	1,71E-14
Acidification	1,20E-11	2,00E-12	4,63E-14	9,83E-12	2,84E-15	8,58E-14
Eutrophication	2,09E-12	7,48E-13	1,06E-14	1,32E-12	7,86E-16	5,81E-15
Global warming (GWP100)	2,51E-12	4,60E-13	2,91E-14	2,00E-12	1,71E-15	2,42E-14
Ozone layer depletion	6,64E-14	1,00E-14	9,40E-17	5,60E-14	6,60E-17	2,55E-16
Human toxicity	3,79E-12	3,43E-12	3,12E-14	3,23E-13	4,50E-16	8,36E-15
Fresh water aquatic ecotox.	1,13E-12	4,42E-13	2,72E-13	4,14E-13	3,36E-16	4,72E-15
Marine aquatic ecotoxi	2,22E-11	6,70E-12	2,36E-12	1,31E-11	6,45E-15	9,26E-14
Terrestrial ecotoxicity	3,09E-12	2,62E-12	1,75E-15	4,35E-13	3,65E-16	3,38E-14
Photochemical oxidatio	1,55E-12	3,74E-13	1,13E-14	1,15E-12	4,07E-16	1,36E-14
<b>TOTAL</b>	<b>5,10E-11</b>	<b>1,73E-11</b>	<b>2,79E-12</b>	<b>3,06E-11</b>	<b>1,50E-14</b>	<b>2,86E-13</b>

## APÉNDICE C

### ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD

TABLA 1

CARGA AMBIENTAL DE CADA ESCENARIO DE RESIDUO PARA LA BATERÍA ION LITIO

Categoría de impacto	1. Escenario real (75% tratamiento sanitario/25% desecho electrónico)	2. Escenario ideal (100% tratamiento desecho electrónico)	3. Escenario crítico (100% tratamiento sanitario)	4. Escenario adverso (25% tratamiento sanitario/75% desecho electrónico)
Carcinogens	5,54E-06	0,00E+00	7,39E-06	1,85E-06
Resp. organics	2,87E-08	9,70E-09	3,50E-08	1,60E-08
Resp. inorganics	6,73E-05	2,43E-06	8,89E-05	2,40E-05
Climate change	1,71E-05	1,46E-06	2,23E-05	6,67E-06
Radiation	2,26E-07	0,00E+00	3,02E-07	7,54E-08
Ozone layer	4,09E-09	0,00E+00	5,45E-09	1,36E-09
Ecotoxicity	2,15E-06	0,00E+00	2,86E-06	7,16E-07
Acidification/ Eutrop	2,42E-06	1,99E-07	3,16E-06	9,40E-07
Land use	9,63E-07	0,00E+00	1,28E-06	3,21E-07
Minerals	4,10E-06	4,34E-07	5,32E-06	1,65E-06
Fossil fuels	5,88E-05	1,06E-05	7,49E-05	2,67E-05
<b>TOTAL</b>	<b>1,59E-04</b>	<b>1,52E-05</b>	<b>2,06E-04</b>	<b>6,30E-05</b>

# BIBLIOGRAFÍA

1. AMARAKOON, SMITH, & SEGAL. Application of LCA to Nanoscale Technology: Li-ion Batteries for Electric Vehicles. United States Environmental Protection Agency (EPA). Orlando, 2013. Obtenido de <http://www.epa.gov/dfe/pubs/projects/lbnp/final-li-ion-battery-lca-report.pdf>
2. BARE, & HOFSTETTER. Midpoints versus Endpoints: The sacrifices and benefits. Life Cycle Impact Assessment Workshop. Ecomed Publishers. Landsberg, Alemania, 2000.
3. BAUMANN. Life cycle assessment and decision making. Theories and practices. Swedish Waste Research Council. Estocolmo, 1998.
4. BAUMANN, & TILLMAN. The Hitch Hiker's Guide to LCA, An orientation in life cycle assessment methodology and application. The authors and Studelitteratur. Estocolmo, 2004.

5. BOEGLIN, & VEUILLET. Introduction à l'Analyse de Cycle de Vie (AVC). Département Eco-Conception & Consommation Durable.France, 2005.
6. BRAIN. How Lithium-ion Batteries Work. 1998 Obtenido de How Stuff Works: <http://electronics.howstuffworks.com/everyday-tech/lithium-ion-battery1.htm>
7. BUCHMANN. What's the Best Battery? 2010. Obtenido de Battery University:[http://batteryuniversity.com/learn/article/whats\\_the\\_best\\_battery](http://batteryuniversity.com/learn/article/whats_the_best_battery)
8. CHIN. Life Cycle Assessment of a Mobile Phone. University of Southern Queensland: Faculty of Engineering and Surveying Australia, 2005; pg. 5.1-5.7
9. CONGRESO NACIONAL DEL ECUADOR. Ley de Gestión Ambiental. Ministerio de Ambiente. Quito, 1999.
10. CURRAN, & SCIENTIFIC APPLICATIONS INTERNATIONAL CORPORATION. Life Cycle Assessment: Principles and Practice. US Environmental Protection Agency. Cincinnati, 2006.
11. DANIEL. Materials and Processing for Lithium-ion Batteries. 2008 Obtenido de The Minerals, Metals & Materials Society: <http://www.tms.org/pubs/journals/jom/0809/daniel-0809.html>
12. DOMINIC & COLS, E. Contribution of Li-Ion Batteries to the Environmental Impact of Electric Vehicles. 2010. Recuperado el

29 de Diciembre de 2013, de American Chemical Society:  
<http://pubs.acs.org/doi/full/10.1021/es903729a>

13. GOBIERNO DE LA PROVINCIA DE SAN LUIS. Plan Provincial 'A Toda Pila'. 2009. Obtenido de Ministerio de Medio Ambiente Argentina:<http://www.medioambiente.sanluis.gov.ar/MAmbienteASP/paginas/pagina.asp?PaginalD=180>
14. GOEDKOOOP & SPREINSMA. The Eco-Indicator 99: A damage oriented method for Life Cycle Impact Assessment (3rd ed.). Pré Consultants. Netherlands, 2001.
15. HAWKEN. Resource Waste. Mother Jones Magazine. San Francisco, 1997
16. HAZWAT. Procesos CRA. Hazwat Cia. Ltda. Quito, 2007.
17. HONORABLE CONGRESO NACIONAL. Codificación de la Ley de Gestión Ambiental. Registro oficial del Congreso Nacional. Quito, 2004.
18. HOUGÉ-NGOUNA. Modélisation des connaissances normatives en vue l'évaluation de la recyclabilité d'un produit en conception: des normes aux contraintes. L'institut National Polytechnique de Toulouse. Toulouse, 2006.
19. INSTITUTE OF ENVIRONMENTAL SCIENCES - CML. Database Manual Dutch Input Output Database 95: Presentation of the different data sources and description of the data treatment. 2011.

Obtenido de Institute of Environmental Sciences, Universiteit Leiden: <http://cml.leiden.edu/software/data-cmlia.html>

20. INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. ISO 14041:1998 Environmental management - Life cycle assessment - Goal and scope definition and inventory analysis. ISO 14000. Génova, 1998.
21. INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. ISO 14040:2006 Environmental management - Life cycle assessment - Principles and Framework. (2nd ed.). ISO 2006. Ginebra, 2006.
22. INTERNATIONAL ORGANIZATION OF STANDARDIZATION. ISO 14042:2000 Environmental management - Life cycle assessment. ISO14000. Génova, 2000.
23. INTERNATIONAL ORGANIZATION OF STANDARDIZATION. ISO 14043:2000 Environmental management - Life cycle assessment. ISO14000. Génova, 2000.
24. JENSEN & HOFFAMAN. Life Cycle Assessment (LCA): A Guide to approaches, experiences and information sources. European Environmental Agency. Dinamarca, 1997.
25. JOHN WILEY AND SONS LTD. Environmental Issues and Waste Management Technologies in the Materials and Nuclear

- Industries XII. (A. Cozzi, & T. Ohji, Edits.) The American Ceramic Society. United Kingdom, 2009.
26. JUNGBLUTH & CHUDACOFF. Life Cycle Inventories of Bioenergy. Final report Ecoinvent data v2.0. Vol 17. Swiss Centre for LCI, ESU. Duebendorf and Uster. Suiza, 2007.
  27. LI, MURPHY, & WINNIK. Studies on the cycle life of commercial lithium ion batteries during rapid charge–discharge cycling. Journal of Power Sources. Atlanta, 2001.
  28. MAJEAU-BETTEZ, HAWKINS & HAMMER-STOMMAN. Life Cycle Environmental Assessment of Lithium-Ion and Nickel Hybride Batteries for Plug-in Hybrids and Battery Electric Vehicles. American Chemical Society. Trondheim, Noruega, 2011.
  29. MOTOROLA SOLUTIONS. Data Product Sheet BT61-SNN5820A. Motorola Solutions. Schaumburg, Illinois, 2010.
  30. O'HARA & WESSELMARK. Battery Technologies: A General Overview & Focus on Lithium-Ion. Obtenido de Intertek, 2012. <http://www.intertek.com/WorkArea/DownloadAsset.aspx?id=26143>.
  31. OLIVETTI, GREGORY & KIRCHAIN. Life cycle assessment of alkaline batteries with focus on end-of-life disposal scenarios. Massachusetts Institute of Technology. Boston, 2010.

32. PNUMA. Convenio de Basilea sobre el Control de los Movimientos Transfronterizos de los Desechos Peligrosos y su Eliminación. Basilea, Suiza: Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, 2011. Obtenido de <http://www.basel.int/Portals/4/Basel%20Convention/docs/text/BaselConventionText-s.pdf>
33. RAMÍREZ, DUQUE, BOERO & MELENDRES. Desarrollo de una evaluación de ciclo de vida de la electricidad. ESPOL/INER. Guayaquil, 2013.
34. RAMÍREZ. Uso de la Metodología de Evaluación Ambiental de Ciclo de Vida para productos: Aplicación a baterías de arranque automotor. Facultad de Ingeniería en Mecánica, ESPOL. Guayaquil, 2004.
35. RYDH. Environmental Assessment of Battery Systems: Critical Issues for Established and Emerging Technologies. Environmental Systems Analysis. Chalmers University of Technology. Suecia, 2003.
36. SIMAPRO ECOINVENT. Database Manual. Obtenido de SimaPro Ecoinvent, 2010. <http://www.pre-sustainability.com/download/manuals/DatabaseManualMethods.pdf>
37. UNEP SETAC. Life Cycle Initiative Co-organised, 2001. Obtenido de UNEP SETAC: <http://www.unepie.org/pc/sustain/lcinitiative/>

38. WOODBANK COMMUNICATIONS. Battery and Energy Technologies, 2005. Obtenido de Battery Performance Characteristics: <http://www.mpoweruk.com/performance.htm>