



UNIVERSIDAD DE CHILE – FACULTAD DE CIENCIAS- ESCUELA DE PREGRADO

“Evaluación ambiental de distintas tecnologías de almacenamiento de energía”

Seminario de Título entregado a la Universidad de Chile en cumplimiento parcial de los requisitos para optar al Título de

Químico Ambiental

MAITE LOURDES FERNÁNDEZ SEPÚLVEDA

Director del Seminario de Título: Dr. Rodrigo Palma Behnke

Profesor Patrocinante: Dr. Richard Toro Araya

Septiembre 2018
Santiago - Chile



INFORME DE APROBACIÓN SEMINARIO DE TÍTULO

Se informa a la Escuela de Pregrado de la Facultad de Ciencias, de la Universidad de Chile que el Seminario de Título, presentado por el(la) candidato(a):

MAITE LOURDES FERNÁNDEZ SEPÚLVEDA

Evaluación ambiental de distintas tecnologías de almacenamiento de energía

Ha sido aprobado por la Comisión de Evaluación, en cumplimiento parcial de los requisitos para optar al Título de Químico Ambiental.

COMISIÓN DE EVALUACIÓN

Dr. Rodrigo Palma Behnke

Director Seminario de Título:

Dr. Richard Toro Araya

Profesor Patrocinante:

Mag. Gustavo Salinas

Presidente Comisión:

Dr. Álvaro Aliaga Cerón

Evaluador:

Santiago de Chile, 2018.

ii. RESEÑA

Maite Fernández Sepúlveda nació en Santiago, Región Metropolitana, Chile el 29 de septiembre de 1991. Sus padres son Teresa de Lourdes Sepúlveda Cornejo y Rodrigo Ignacio Fernández Mellado.

Cursó su enseñanza básica y media en el Colegio Manantial de La Florida, donde demostró desde temprana edad su interés por las ciencias.

Hizo ingreso a la carrera de Química Ambiental en la Universidad de Chile el año 2010. En esta formó redes importantes de amigos, y observó las distintas áreas en las que podría desarrollar su vida laboral, escogiendo el camino de la gestión ambiental.

iii. AGRADECIMIENTOS

Quiero partir expresando mi gratitud a mi madre, Teresa, por su apoyo incondicional durante toda mi vida, guiándome para ser mejor persona y brindándome todo su amor. Mi familia siempre ha sido fundamental para salir adelante por lo que debo agradecerle a mi abuela Adela y a mi hermano Rodrigo que han estado conmigo en todo momento.

También quiero agradecer a Paula, Benicio, Ignacio, Christopher, Tomás y Lili por su compañía y amistad en este periodo de aprendizaje. Y por último quiero agradecer a mi director de tesis, Rodrigo Palma, por darme la oportunidad de conocer un campo nuevo para mí y guiarme durante todo este proceso a convertirme en un mejor profesional, quiero dar mi agradecimiento al cuerpo docente de la carrera, a mi director de carrera Richard Toro y los integrantes de la comisión evaluadora que me han guiado hasta este momento.

iv. ÍNDICE DE CONTENIDOS

1.	INTRODUCCIÓN	2
1.1.	Las energías renovables de producción variables	2
1.2.	Las tecnologías de almacenamiento	5
1.3.	Evaluación ambiental.....	9
1.4.	Motivación y justificación.....	11
1.5.	Alcance.....	13
1.6.	Objetivos	13
1.6.1.	Objetivo General.....	13
1.6.2.	Objetivos Específicos.....	13
2.	METODOLOGÍA.....	14
2.1.	Estructura del trabajo	14
2.2.	Propuesta metodológica	15
2.2.1.	Planteamiento general – Modelo propuesto	15
2.2.2.	A. Clasificación y caracterización	16
2.2.3.	B. Evaluación ambiental de los Sistemas de Almacenamiento	17
2.2.4.	C. Fase de análisis	19
3.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	23
3.1.	Descripción general.....	23
3.2.	A. Clasificación.....	23
3.3.	B. Evaluación ambiental	28
3.4.	C. Análisis de resultados y discusiones.....	60

3.4.1.	Figuras por etapa del ciclo de vida	60
3.4.2.	Figuras por Núcleo Ambiental	64
3.4.3.	Figuras por Tecnología	68
4.	CONCLUSIONES Y DISCUSIÓN	74
5.	REFERENCIAS	77

v. ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Ventajas y desventajas distintos tipos de tecnologías de almacenamiento de energía	7
Tabla 2: Ejemplo de tablas utilizadas para evaluar ambientalmente los sistemas ..	19
Tabla 3: Detalle de los valores para asignar a cada impacto	20
Tabla 4: Asignación de valores a los impactos ambientales encontrados en una central de bombeo hídrico	21
Tabla 5: Ejemplo de tabla utilizada finalmente con impactos, valores, riesgos y plan de contingencia, suma de tabla 2 y tabla 4.....	22
Tabla 6: Impactos y riesgos generados por un sistema de almacenamiento energético de bombeo hídrico al aire.....	28
Tabla 7: Impactos y riesgos generados por un sistema de almacenamiento energético de bombeo hídrico al agua.....	29
Tabla 8: Impactos y riesgos generados por un sistema de almacenamiento energético de bombeo hídrico al suelo.....	30
Tabla 9: Impactos y riesgos generados por un sistema de almacenamiento energético de bombeo hídrico a la flora y fauna.....	31
Tabla 10: Impactos y riesgos generados por un sistema de almacenamiento energético de bombeo hídrico a las personas.....	32
Tabla 11: Impactos y riesgos ocasionados por almacenamiento energético de aire comprimido al aire	33
Tabla 12: Impactos y riesgos ocasionados por almacenamiento energético de aire comprimido al agua.....	34

Tabla 13: Impactos y riesgos ocasionados por almacenamiento energético de aire comprimido al suelo	34
Tabla 14: Impactos y riesgos ocasionados por almacenamiento energético de aire comprimido a la flora y fauna	35
Tabla 15: Impactos y riesgos ocasionados por almacenamiento energético de aire comprimido a las personas.....	35
Tabla 16: Impactos y riesgos generados por almacenamiento kinésico de energía al aire.....	36
Tabla 17: Impactos y riesgos generados por almacenamiento kinésico de energía al agua.....	36
Tabla 18: Impactos y riesgos generados por almacenamiento kinésico de energía al suelo.....	37
Tabla 19: Impactos y riesgos generados por almacenamiento kinésico de energía a la flora y fauna.....	37
Tabla 20: Impactos y riesgos generados por almacenamiento kinésico de energía a las personas.....	38
Tabla 21: Impactos y riesgos ambientales causados por las celdas de combustible hidrógeno al aire.....	39
Tabla 22: Impactos y riesgos ambientales causados por las celdas de combustible hidrógeno al agua.....	40
Tabla 23: Impactos y riesgos ambientales causados por las celdas de combustible hidrógeno al suelo.....	40
Tabla 24: Impactos y riesgos ambientales causados por las celdas de combustible hidrógeno a la flora y fauna.....	41

Tabla 25: Impactos y riesgos ambientales causados por las celdas de combustible hidrógeno a las personas.....	41
Tabla 26: Impactos ambientales y riesgos causados por el sistema Power-to-Gas al aire.....	42
Tabla 27: Impactos ambientales y riesgos causados por el sistema Power-to-Gas al agua.....	43
Tabla 28: Impactos ambientales y riesgos causados por el sistema Power-to-Gas al suelo.....	43
Tabla 29: Impactos ambientales y riesgos causados por el sistema Power-to-Gas a la flora y fauna.....	44
Tabla 30: Impactos ambientales y riesgos causados por el sistema Power-to-Gas a las personas.....	44
Tabla 31: Impactos ambientales y riesgos ocasionados por el almacenamiento de combustible solar al aire.....	45
Tabla 32: Impactos ambientales y riesgos ocasionados por el almacenamiento de combustible solar al agua.....	45
Tabla 33: Impactos ambientales y riesgos ocasionados por el almacenamiento de combustible solar al suelo.....	46
Tabla 34: Impactos ambientales y riesgos ocasionados por el almacenamiento de combustible solar a la flora y fauna.....	46
Tabla 35: Impactos ambientales y riesgos ocasionados por el almacenamiento de combustible solar a las personas.....	47
Tabla 36: Impactos ambientales y riesgos ocasionados por las baterías de Plomo/Ácido al aire.....	48

Tabla 37: Impactos ambientales y riesgos ocasionados por las baterías de Plomo/Ácido al agua.....	49
Tabla 38: Impactos ambientales y riesgos ocasionados por las baterías de Plomo/Ácido al suelo.....	50
Tabla 39: Impactos ambientales y riesgos ocasionados por las baterías de Plomo/Ácido a la flora y fauna.....	50
Tabla 40: Impactos ambientales y riesgos ocasionados por las baterías de Plomo/Ácido a las personas.....	51
Tabla 41: Impactos ambientales y riesgos ocasionados por las baterías de Litio al aire.....	51
Tabla 42: Impactos ambientales y riesgos ocasionados por las baterías de Litio al agua.....	52
Tabla 43: Impactos ambientales y riesgos ocasionados por las baterías de Litio al suelo.....	52
Tabla 44: Impactos ambientales y riesgos ocasionados por las baterías de Litio a la flora y fauna.....	53
Tabla 45: Impactos ambientales y riesgos ocasionados por las baterías de Litio a las personas.....	53
Tabla 46: Impactos ambientales y riesgos ocasionados por las baterías de flujo de Vanadio al aire.....	54
Tabla 47: Impactos ambientales y riesgos ocasionados por las baterías de flujo de Vanadio al agua.....	54
Tabla 48: Impactos ambientales y riesgos ocasionados por las baterías de flujo de Vanadio al suelo.....	55

Tabla 49: Impactos ambientales y riesgos ocasionados por las baterías de flujo de Vanadio a la flora y fauna.....	55
Tabla 50: Impactos ambientales y riesgos ocasionados por las baterías de flujo de Vanadio a las personas.....	56
Tabla 51: Impactos ambientales y riesgos ocasionados por el almacenamiento con materiales de cambio de fase (PCM) al aire.....	57
Tabla 52: Impactos ambientales y riesgos ocasionados por el almacenamiento con materiales de cambio de fase (PCM) al agua.....	57
Tabla 53: Impactos ambientales y riesgos ocasionados por el almacenamiento con materiales de cambio de fase (PCM) al suelo.....	58
Tabla 54: Impactos ambientales y riesgos ocasionados por el almacenamiento con materiales de cambio de fase (PCM) a la flora y fauna.....	58
Tabla 55: Impactos ambientales y riesgos ocasionados por el almacenamiento con materiales de cambio de fase (PCM) al aire.....	59

vi. ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Perfil horario de generación de energía en el Parque Eólico Valle de los Vientos y el Parque Eólico Sierra Gorda Este entre el 8 y 9 de noviembre del 2017.	3
Figura 2: Perfil horario de generación de energía en algunas centrales solares entre el 8 y 9 de noviembre del 2017.....	4
Figura 3: Diagrama del modelo propuesto de trabajo.	15
Figura 4: Diagrama de funcionamiento de un sistema de almacenamiento de energía.	17
Figura 5: Diagrama de funcionamiento de un sistema de almacenamiento por bombeo hídrico.....	24
Figura 6: Diagrama de funcionamiento de un sistema de almacenamiento por aire comprimido.....	24
Figura 7: Diagrama de funcionamiento de un sistema de almacenamiento por discos de inercia.....	25
Figura 8: Diagrama de funcionamiento de un sistema de almacenamiento en celdas de combustible hidrógeno.....	25
Figura 9: Diagrama de funcionamiento de un sistema de almacenamiento power-to-gas.	26
Figura 10: Diagrama de funcionamiento de un sistema de almacenamiento de combustible solar.....	26
Figura 11: Diagrama de funcionamiento de un sistema de almacenamiento de energía electroquímica	27

Figura 12: Diagrama de funcionamiento de un sistema de almacenamiento de energía térmica.....	27
Figura 13: Impactos negativos realizados por los sistemas de almacenamiento durante su etapa de materias primas.....	60
Figura 14: Impactos negativos realizados por los sistemas de almacenamiento durante su etapa de implementación	61
Figura 15: Impactos negativos realizados por los sistemas de almacenamiento durante su etapa de operación.	62
Figura 16: Impactos negativos realizados por los sistemas de almacenamiento durante su etapa de fin de vida útil.	63
Figura 17: Impactos negativos realizados por los sistemas de almacenamiento en el núcleo ambiental aire.....	64
Figura 18: Impactos negativos realizados por los sistemas de almacenamiento en el núcleo ambiental agua.....	65
Figura 19: Impactos negativos realizados por los sistemas de almacenamiento en el núcleo ambiental suelo.	65
Figura 20: Impactos negativos realizados por los sistemas de almacenamiento en el núcleo ambiental flora y fauna.	66
Figura 21: Impactos negativos realizados por los sistemas de almacenamiento en el núcleo ambiental personas.	67
Figura 22: Impactos ambientales negativos ocasionados por el almacenamiento por bombeo hídrico y por aire comprimido.	68
Figura 23: Impactos ambientales negativos ocasionados por los discos de inercia.	69
Figura 24: Impactos ambientales negativos ocasionados por las celdas de combustible de hidrógeno, power-to-gas y el almacenamiento de combustible solar.	70

Figura 25: Impactos ambientales negativos ocasionados por las Baterías de Plomo/Ácido, Baterías Ion Litio y Baterías de flujo de Vanadio.71

Figura 26: Impactos ambientales negativos ocasionados por el almacenamiento de energía en materiales de cambio de fase. 72

RESUMEN

Chile es un país en desarrollo que posee políticas energéticas comprometidas con el medio ambiente, para el 2035 se espera que un 60% de la energía producida en el país sea renovable y para el 2050 debe ser al menos de un 70%. Como algunos de los sistemas de energías renovables poseen una potencia de salida variable, es necesario trabajar con tecnologías de almacenamiento de energía para lograr una integración eficiente a los sistemas de electricidad en Chile y así poder utilizar toda la energía producida.

El objetivo general de este trabajo es evaluar desde un punto de vista ambiental diez tipos de sistemas de almacenamiento de energía: almacenamiento por bombeo hídrico, almacenamiento por aire comprimido, almacenamiento kinésico, almacenamiento por celdas de combustible hidrógeno, almacenamiento Power-to-Gas, almacenamiento de combustible solar, almacenamiento con baterías de Plomo/Ácido, almacenamiento con baterías de litio, almacenamiento de baterías de flujo de Vanadio y almacenamiento térmico con materiales de cambio de fase, con el fin de entregar insumos relevantes como herramientas de diseño y planificación de los sistemas eléctricos y así contar con sistemas más sustentables con el medio ambiente y con mayor eficiencia energética.

Para lograr lo anterior se realizó una revisión de la literatura medioambiental y la literatura de los sistemas de almacenamiento de energía logrando realizar una clasificación y caracterización de las distintas tecnologías considerando el tipo de almacenamiento que utilizan. También se tomaron en cuenta los materiales requeridos para su elaboración, sus procesos, componentes y aspectos operacionales, definiendo para el análisis como etapas del ciclo de vida: materias primas, implementación,

operación y fin de su vida útil. Del eje ambiental se consideraron cinco aspectos aire, agua, suelo, flora y fauna, y las personas. Con esto se evalúa cada etapa del ciclo de vida de los sistemas de almacenamiento de energía en cada ámbito ambiental.

Al analizar las distintas tecnologías desde el punto de vista de sus etapas del ciclo de vida podemos apreciar que cuando están en etapa de materias primas las que poseen un mayor nivel de impactos son el almacenamiento de bombeo hídrico y las baterías de Plomo/Ácido, la primera debido al tamaño del sistema y la segunda por el nivel de toxicidad de sus componentes. Al momento de implementar los sistemas de almacenamiento siguen predominando las baterías de Plomo/Ácido con mayores magnitudes de impactos. Luego durante su operación, el almacenamiento energético por bombeo hídrico tiene mayores impactos. Y al fin de su vida útil las baterías de Plomo/Ácido siguen siendo las que poseen un mayor nivel de daño por el nivel de toxicidad de sus componentes y que requieren de un cuidadoso manejo durante su reciclaje. En general durante todo su ciclo de vida, los sistemas con mayores grados de impactos ambientales negativos fueron las baterías de Plomo/Ácido y el almacenamiento por bombeo hídrico. Los tres sistemas que generan un menor número de impactos durante todo su ciclo de vida son el Combustible Solar, Power-to-gas y las celdas de combustible hidrógeno.

ABSTRACT

Chile is a developing country that has energy policies committed to the environment, by 2035 it is expected that 60% of the energy produced in the country will be renewable and by 2050 it should be at least 70%. As some of the renewable energy systems have a variable output power, it is necessary to work with energy storage technologies to achieve an efficient integration to the electricity systems in Chile and be able to use all the energy produced.

The objective of this work is to evaluate from an environmental point of view ten types of energy storage systems: by water pumping, by compressed air, kinesics storage, by hydrogen fuel cells, Power-to-Gas storage, of solar fuel, with Lead-acid batteries, with Lithium batteries, of Vanadium flow batteries and thermal storage with phase change materials, in order to deliver relevant inputs such as design and planning tools and have more sustainable systems with the environment and greater energy efficiency.

To achieve the above, a review of the environmental literature and the literature of the energy storage systems was carried out, achieving a classification and characterization of the different technologies considering the type of storage they use. The materials required for its elaboration, processes, components and operational aspects were also considered, defining for the analysis as life cycle stages: raw materials, implementation, operation and end of its useful life. On the environmental axis, five aspects were considered: air, water, soil, flora and fauna, and people. This evaluates each stage of the life cycle of the energy storage systems in each environmental area.

When analyzing the different technologies from the point of view of their life cycle stages we can appreciate that when they are raw materials those that have a higher level

of impacts are the Pumped Hydroelectric storage and Lead-Acid batteries, the first due to the size of the system and the second by the level of toxicity of its components. At the time of implement the storage systems Lead-Acid batteries are still predominating with greater impact magnitudes. Then during the operation, the Pumped Hydroelectric storage has greater impacts. And at the end of its useful life Lead-Acid Batteries are still those that have a higher level of damage due to the level of toxicity of its components and that require careful handling during recycling. In general, throughout its life cycle, the systems with the highest degrees of negative environmental impacts were Lead-Acid batteries and Pumped Hydroelectric storage. The three systems that generate a lower number of impacts throughout their life cycle are Solar Fuel, Power-to-gas and hydrogen fuel cells.

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Las energías renovables de producción variables

Las ciudades usan continuamente energía, no existe momento del día en que no se requiera electricidad. Los refrigeradores en los hogares siempre están conectados, las plantas de tratamiento de agua nunca paran sus turbinas, los hospitales no pueden quedar sin electricidad.

La generación de energía renovable es una alternativa prometedora para combatir el calentamiento global y la creciente escasez de combustibles fósiles. Sin embargo, la mayoría de las fuentes de energía renovables son variables. Esto significa que no producen un flujo continuo de energía o no son gestionables, no igualan la demanda por electricidad todas las horas del año, son geográficamente dispersas y pueden mostrar fuertes fluctuaciones temporales. Estas características dificultan su integración en el sistema de suministro de energía existente en Chile. (Schaber, 2012).

Las fuentes de energía renovable variable más comunes son la energía eólica y la energía solar. Su producción varía según las condiciones climáticas locales, que no son completamente predecibles.

A modo de ejemplo, las centrales eólicas al momento de generar electricidad se ven afectadas por el comportamiento variable del viento en el determinado lugar geográfico en que se encuentran. Ilustrativamente, en un día de verano común el viento que fluye es relativamente bajo, pero en época de invierno el viento aumenta significativamente su flujo dando paso a una mayor producción de energía. Lo mismo ocurre con la diferencia de flujo que ocurre a distintas horas, durante el día el viento puede ser menor que en la noche. Con lo mencionado, ya podemos apreciar que para este tipo de energía

renovable no convencional existe una variabilidad estacional, geográfica y horaria (Nuñez, 2015).

Por su parte las centrales solares también se ven afectadas por la variabilidad estacional. En verano la radiación solar es mayor que en invierno, por lo que durante esta época se llega a producir una mayor cantidad de energía que en invierno. También sufren de variabilidad horaria, ya que sólo durante el día existe la radiación necesaria para producir energía, en la noche la radiación solar baja drásticamente, por lo que hace imposible la producción de electricidad (Nuñez, 2015).

Las figuras 1 y 2 muestran la variabilidad energética horaria de distintas centrales eléctricas en Chile. Estos datos fueron obtenidos del Sistema de Gestión de Energía Renovable (SGER) en la página web del CDEC-SING.

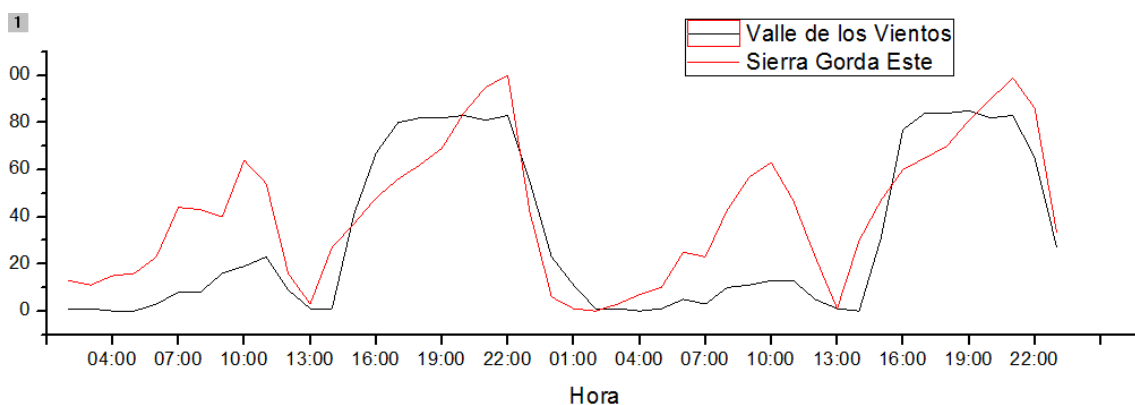


Figura 1: Perfil horario de generación de energía en el Parque Eólico Valle de los Vientos y el Parque Eólico Sierra Gorda Este entre el 8 y 9 de noviembre del 2017.

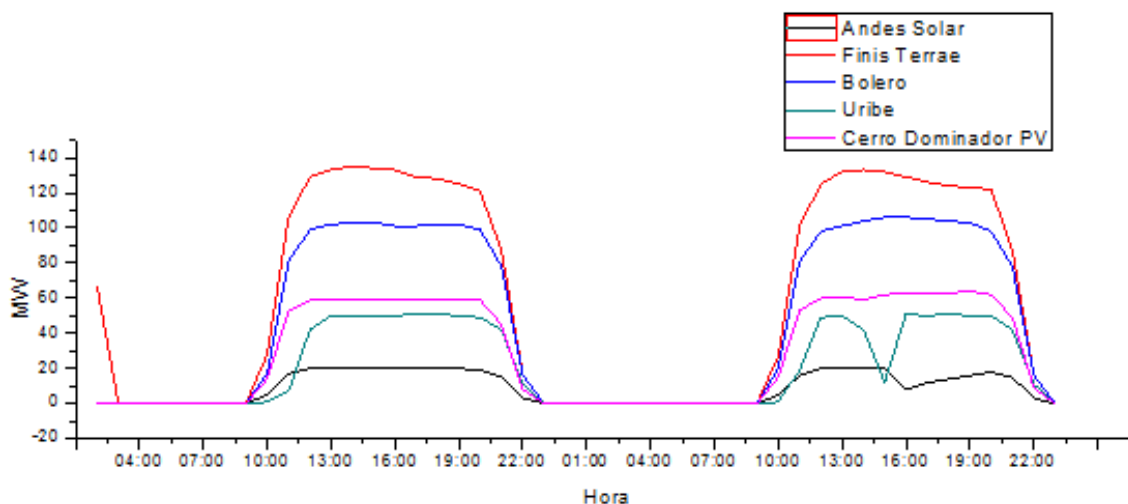


Figura 2: Perfil horario de generación de energía en algunas centrales solares entre el 8 y 9 de noviembre del 2017.

A pesar de que las tecnologías han avanzado bastante respecto a la predicción de los recursos, aún no existe un mecanismo que sea 100% efectivo al momento de señalar en qué momentos variará el viento y la nubosidad, los que afectan la producción de electricidad a partir de energía renovable variable (Aguirre S. y Lolas G., 2015).

Los generadores variables reducen el consumo de combustible de las unidades de generación convencionales. Para obtener los beneficios de las energías renovables variables los generadores convencionales utilizados deben poder variar la producción y adaptarse a la generación eólica y solar para poder satisfacer la demanda normal (Denholm, 2011). Alternativamente, el uso de sistemas de almacenamiento y gestión de la demanda, pueden proporcionar flexibilidad en la gestión de la variabilidad de algunos recursos de generación renovable, evitando la necesidad de recurrir a nuevas fuentes de generación convencional. Lo anterior requiere de un compromiso de un desempeño técnico adecuado con una evaluación económica que lo justifique. Asimismo, los efectos ambientales de una u otra solución pueden ser de gran importancia en una decisión final

tendiente a maximizar el beneficio social y una asignación adecuada de recursos (Fundación Gas Natural Fenosa, 2013).

1.2. Las tecnologías de almacenamiento

La mayoría de la población utiliza diariamente algún tipo de almacenamiento de energía, en celulares, computadores portátiles, controles remotos, calculadoras, relojes, vehículos, etc. Pero esta no es una tecnología nueva, todo parte a principios del siglo XIX cuando es fabricada la primera batería, la celda de Volta, la que poseía discos alternados de zinc y cobre separados con una placa de cartón que utilizaba una solución de salmuera como electrolito. La celda de Volta fue el principio para las baterías, pero no fue hasta mediados del siglo XIX que aparecen las baterías o acumuladores recargables, los cuales evolucionaron desde las baterías de Plomo/ácido a las de níquel-cadmio, níquel-metal hidruro, litio ion, entre otras (Whittingham, 2012).

En la actualidad existen diversos tipos de tecnologías de almacenamiento de energía, desde unidades compactas a grandes construcciones. Existen diversos tipos de clasificaciones de éstas, según el enfoque que se busque. Para Letcher (2016) las tecnologías de almacenamiento de energía se dividen en cuatro grandes grupos: mecánicas, térmicas, electroquímicas y químicas. Dentro de la primera categoría podemos encontrar las de bombeo hídrico (PHS) en la cual se almacena una gran cantidad de agua en un reservorio superior, represa o contenedor, y al momento de generar energía esta se deja fluir al reservorio inferior, el cual puede ser un contenedor cerrado, un río o el mar, generando fuerza mecánica que es transformada a electricidad. También encontramos en esta categoría a los sistemas ground-breaking energy storage (GBES) en el que una masa de gran volumen es subida o bajada hidráulicamente cuando existe un exceso o déficit de energía en la red. Otra tecnología parecida es la del tren

avanzado (ARES) con la cual se utiliza el exceso de energía para subir un pesado tren eléctrico a una gran altura. En períodos de demanda energética el tren emprende camino a su posición más baja, generando energía.

Las dos principales tecnologías mecánicas son las de aire comprimido (CAES) y los discos de inercia (en inglés Flywheel). El almacenamiento de aire comprimido consiste en mantener un volumen o presión constante de aire en los reservorios. Estos pueden ser cavernas de sal, acuíferos o recipientes de presión construidos específicamente para esto. Almacenamiento subterráneo y bolsas de energía submarinas pueden ser incluidas con generación eólica marina.

El almacenamiento de energía de aire líquido (LAES) es una de las tecnologías termo-mecánicas que se está desarrollando últimamente con el objetivo de mejorar la eficiencia energética. Esta es una alternativa al CAES, ya que utiliza la electricidad excedente para enfriar el aire hasta convertirlo en líquido el cual es almacenado en un tanque. Cuando la energía es requerida, se calienta el aire hasta que se expande y hace girar una turbina.

Los discos de inercia almacenan energía al acelerar un rotor a velocidades muy altas con la electricidad excedente, manteniendo la energía como rotación. Los discos de inercia son desacelerados a medida que se necesita extraer la energía del sistema.

En el ámbito electroquímico encontramos a las baterías recargables, las cuales son ampliamente utilizadas en los dispositivos electrónicos y el transporte, pero a escala red no son muy comunes. Las baterías o acumuladores más utilizados son los de plomo ácido, níquel-metal hidruro, sodio-azufre y litio. Los sistemas a escalas mayores utilizan bancos de baterías.

Un tipo de batería recargable son las baterías de flujo en las que dos componentes químicos intercambian iones a través de una membrana que los separa. Estas tienen una mayor durabilidad que las baterías convencionales.

Las celdas de combustible son tipos de almacenamiento electroquímico, los cuales producen energía a partir de suministros externos de combustible y solución oxidante. Cuando la energía es requerida se consumen ambos componentes generando electricidad y solución reductora, y cuando se necesita almacenar energía eléctrica el sistema utiliza ésta con el reductor para producir solución oxidante y combustible. Una celda de hidrógeno utiliza este gas como combustible y oxígeno como oxidante. Otros combustibles utilizados son hidrocarburos, alcoholes e incluso metales, mientras que los oxidantes incluyen aire, cloro y dióxido de cloro (Chen, 2009).

Otro tipo de almacenamiento electroquímico pero de menor densidad energética que las baterías son los súper-capacitores, los cuales utilizan capacitancia electrostática que superan hasta 10.000 veces la carga de un capacitor dieléctrico convencional.

También existe el almacenamiento eléctrico, un ejemplo de estos son el almacenamiento magnético de energía con superconductores. La energía entra al sistema accionando una bobina superconductora que forma un campo magnético para almacenarla (U.S Department of Energy, 2013).

El almacenamiento de energía térmica a calor latente se basa en la absorción o liberación de calor cuando un material almacenado sufre un cambio de fase reversible, como el cambio de estado líquido a gaseoso o sólido a líquido (Sharma, 2009). Los almacenamientos por calor sensible acumulan energía en la variación de temperatura de un material, para luego depositarlo en un contenedor aislado térmicamente (International Renewable Energy Agency (IRENA) y Energy Technology System Analysis Programme (ETSAP), 2013).

Los estanques solares son un tipo de almacenamiento térmico sensible en los que piscinas son llenadas con agua salada que actúa como colector de energía solar. Debido a la salinidad del agua se genera un gradiente en el cual a mayor profundidad aumenta la concentración y la densidad. El calor absorbido permanece en el fondo porque el gradiente de salinidad inhibe la convección natural y el agua al estar más fría en la superficie actúa como aislante impidiendo que se mezcle con el agua salada (Letcher, 2016).

Sistemas power-to-gas involucran el almacenamiento de hidrógeno derivado de la electrólisis. Estos producen hidrógeno utilizando los excedentes de electricidad para luego inyectarlo a la red de gas natural. El hidrógeno puede ser sometido a una metanización, utilizando el dióxido de carbono residual de un proceso industrial, para aumentar el suministro total de gas.

A continuación, se listan las tecnologías mencionadas, con sus principales ventajas y desventajas. Aunque se enuncian los impactos ambientales no especifican cuales son ni que se ve afectado.

Tabla 1: Ventajas y desventajas distintos tipos de tecnologías de almacenamiento de energía (Chen, 2009).

Tecnología	Ventajas	Desventajas
Bombeo hídrico	<ul style="list-style-type: none"> • Tecnología desarrollada y madura. • Buena tasa de toma de carga. • Actualmente la más efectiva monetariamente. 	<ul style="list-style-type: none"> • Limitaciones geográficas. • Altos costos de inversión. • Uso de territorios extensos.
Aire comprimido	<ul style="list-style-type: none"> • Mejor rampa que centrales a gas. • Tecnología establecida en operación desde los 70s. 	<ul style="list-style-type: none"> • Limitaciones geográficas. • Baja eficiencia. • Peor tiempo de respuesta que baterías o flywheels

Tabla 1: Ventajas y desventajas distintos tipos de tecnologías de almacenamiento de energía (Chen, 2009) (Continuación)

Tecnología	Ventajas	Desventajas
Discos de inercia	<ul style="list-style-type: none"> • Modular. • Vida útil de muchos ciclos. • Rápida respuesta. • Alta eficiencia. 	<ul style="list-style-type: none"> • Tiempo de almacenamiento de la energía por pérdidas en el roce. • Limitaciones en la fuerza del rotor.
Batería Plomo Ácido	<ul style="list-style-type: none"> • Tecnología madura. • Bajo costo. • Gran parte de sus componentes se pueden reciclar. • Extensa vida útil. 	<ul style="list-style-type: none"> • Profundidad de descarga limitada. • Baja densidad energética. • Impactos ambientales. • Corrosión en los electrodos.
Batería NaS	<ul style="list-style-type: none"> • Alta densidad energética. • Ciclos de descarga largos. • Respuesta rápida. • Extensa vida útil. 	<ul style="list-style-type: none"> • Requiere altas temperaturas para operar. • Dificultades de contención de líquidos corrosivos.
Baterías Li-ión	<ul style="list-style-type: none"> • Alta densidad energética. • Extensa vida útil. • Alta eficiencia carga/descarga. 	<ul style="list-style-type: none"> • Altos costos. • Sensible a la temperatura, sobrecarga o presión. • Descarga limitada.
Baterías de flujo	<ul style="list-style-type: none"> • Habilidad para realizar muchos ciclos de descarga. • Extensa vida útil. 	<ul style="list-style-type: none"> • Tecnología en desarrollo. • Diseño complejo. • Baja densidad energética • Baja eficiencia.
Superconductores	<ul style="list-style-type: none"> • La mejor eficiencia para descarga. 	<ul style="list-style-type: none"> • Baja densidad energética. • Altos costos de implementación.
Capacitores de doble capa (súper-capacitores)	<ul style="list-style-type: none"> • Extensa vida útil • Tiempos de descarga rápidos y altamente reversibles. 	<ul style="list-style-type: none"> • Altos costos de implementación.
Almacenamiento térmico	<ul style="list-style-type: none"> • Densidades energéticas muy altas 	<ul style="list-style-type: none"> • Altos costos de implementación.

1.3. Evaluación ambiental

La población humana, mediante la actividad industrial, utiliza y consume los recursos naturales para obtener energía, combustible, alimentos, suelo, minerales y agua. Lo que les da cierta calidad de vida, pero conlleva al deterioro ambiental. Por lo que el desarrollo sostenible se vuelve imperativo, debe existir un equilibrio entre el medio ambiente, lo social y lo económico.

Por lo anterior es necesario realizar evaluaciones de impacto ambiental, pero ¿Qué es la evaluación de impacto ambiental? Es la herramienta preventiva mediante la cual se evalúan los impactos negativos y positivos que las políticas, planes, programas y

proyectos generan sobre el medio ambiente, y se proponen las medidas para ajustarlo a niveles de aceptabilidad. Para esto se comparan las condiciones ambientales antes de la actividad humana y con la actividad humana (Serrano R., 2016).

En Chile, la evaluación de impacto ambiental es un procedimiento que, en base a un estudio o Declaración de Impacto Ambiental, determina si el impacto ambiental de una actividad o proyecto se ajusta a las normas vigentes.

Las normativas ambientales parten en 1969 con la Ley de Política Ambiental Nacional de Estados Unidos. Sin embargo, no es hasta 1994 que en Chile se crea la Ley de Bases Generales del Medio Ambiente (Ley 19.300/94) que define a la evaluación de impacto ambiental como “el procedimiento, a cargo de la Comisión Nacional del Medio Ambiente o de la Comisión Regional respectiva, en su caso, que, en base a un Estudio de Impacto Ambiental (EIA) o una Declaración de Impacto Ambiental (DIA), determina si el impacto ambiental de una actividad o proyecto se ajusta a las normas vigentes” (Ministerio Secretaría General de la Presidencia, 1994).

Para que una evaluación ambiental sea efectiva debe poseer una perspectiva científico-técnica, con institucionalidad, focalizada, válida y accesible, además de un enfoque multidimensional. Los propósitos de ésta deben ser incorporar la dimensión ambiental a la planificación y toma de decisiones, predecir las consecuencias ambientales de los proyectos o iniciativas y promover la participación pública. Su objetivo principal es minimizar y/o anular las posibles consecuencias ambientales de los proyectos (Ingenieroambiental.com, 2005).

A su vez, un impacto ambiental es definido como la alteración del medio ambiente provocada directa o indirectamente por un proyecto o actividad en un área determinada (Ministerio Secretaría General de la Presidencia, 1994).

Existen distintos tipos de impactos, el directo es aquel cuyo efecto tiene una incidencia inmediata en algún elemento ambiental. El impacto indirecto o secundario es cuando el efecto supone una incidencia inmediata respecto a la interdependencia o, en general, a la relación de un factor ambiental con otro. El impacto simple es aquel cuyo efecto se manifiesta sobre solo un componente ambiental, o cuyo modo de acción es individualizado, sin consecuencias en la inducción de nuevos efectos, ni en la de su acumulación ni en la de sus sinergias. Un impacto es acumulativo cuando el efecto del agente inductor incrementa progresivamente su gravedad al carecer el medio de mecanismos de eliminación con efectividad temporal similar al del incremento de la acción causante del impacto. Y por último está el impacto sinérgico, que es producido cuando el efecto conjunto de la presencia simultánea de varios agentes o acciones supone una incidencia ambiental mayor que el efecto de la suma de la incidencia individual contemplada aisladamente (Serrano R., 2016).

El área de influencia del proyecto o actividad se definirá y justificará, para cada elemento afectado del medio ambiente, tomando en consideración los impactos ambientales potenciales relevantes sobre ellos (Ministerio Secretaría General de la Presidencia, 2001).

Teniendo en cuenta lo mencionado anteriormente, para la viabilidad de un proyecto de inversión se debe tener en cuenta su eje ambiental, en el que los elementos que pueden ser afectados por impactos ambientales son el aire, agua, suelo, flora y fauna, y personas.

1.4. Motivación y justificación

Vivimos en un mundo que está en constante desarrollo, cada vez más globalizado y con mayores demandas energéticas, las cuales en su mayoría son producidas mediante técnicas poco amigables con el medio ambiente. Por esto, nuevas fuentes de energía y

mejores formas de almacenamiento son temas de preocupación constante para la sociedad actual.

Chile no es la excepción, actualmente un 14,8% de la energía producida proviene de fuentes de energías renovables no convencionales el cual es un avance significativo, pero es necesario hacer más (Comisión Nacional de Energía, 2016). Asimismo, Chile es un país en desarrollo que tiene políticas energéticas comprometidas con el medio ambiente. Sus metas son claras, en el 2035 un 60% de la energía eléctrica producida en el país debe ser renovable y para el 2050 debe ser al menos de un 70% (Energía 2050, 2016).

Para lograr lo anterior se debe tener en cuenta que algunos de los sistemas de energías renovables poseen una potencia de salida variable por lo que es necesario trabajar con tecnologías de almacenamiento de energía para lograr una integración eficiente a los sistemas de electricidad en Chile y así poder utilizar toda la energía producida.

Un sistema de almacenamiento de energía se caracteriza por convertir energía eléctrica en algún tipo de elemento almacenable, para lo que se utilizan distintos procedimientos y tecnologías dependiendo del sistema de conversión elegido (Chen, 2009). En la actualidad existe una amplia variedad de sistemas de almacenamiento de energía tales como sistemas de aire comprimido, bombeo hídrico, térmicos, solares, baterías, entre otros. Cada uno de ellos presenta características técnicas y económicas que impactan en sus costos de inversión y operación. Asimismo, su desarrollo y operación tiene variados impactos ambientales que requieren de ser entendidos y dimensionados. Idealmente, se busca poder incorporar este tipo de conocimiento en las herramientas de apoyo a la toma de decisiones de actores del mercado energético que en definitiva desarrollan y condicionan el uso de este tipo de soluciones

1.5. Alcance

Este trabajo tiene un enfoque cualitativo, por lo que no se considera como parte de su alcance simulaciones detalladas o experimentos asociados a los sistemas de almacenamiento. Los resultados deben ser suficientemente detallados para que sean de utilidad en su integración a modelos de decisión del sector eléctrico que incorporen sistemas de almacenamiento.

Los impactos ambientales serán evaluados a través de información secundaria obtenida de estudios previos o documentos referidos a la materia. Y a los riesgos encontrados se les proporcionará un plan de contingencia sugerido. No se descarta la incorporación de opiniones expertas de actores del sector energético que sean entrevistados.

El uso de los resultados de este trabajo en herramientas de planificación sólo es comentado en términos generales.

1.6. Objetivos

1.6.1. Objetivo General

Evaluar desde un punto de vista ambiental, distintos tipos de sistemas de almacenamiento de energía con el fin de entregar insumos relevantes como herramientas de diseño y planificación de los sistemas eléctricos y así contar con sistemas más sustentables con el medio ambiente y con mayor eficiencia energética.

1.6.2. Objetivos Específicos

- Realizar una clasificación de distintas unidades de almacenamiento de energía con respecto a la forma en la que guardan la energía para hacer más fácil, a futuro, la búsqueda de una tecnología que se adapte al entorno requerido.
- Esquematizar el funcionamiento de las distintas tecnologías considerando la forma en que almacenan energía haciendo más entendible el funcionamiento básico de estas tecnologías a personas inexpertas en el tema.
- Evaluar los impactos ambientales que puedan tener estas tecnologías en los reservorios involucrados con los seres vivos y sobre ellos mismos, durante las distintas etapas de su ciclo de vida, incluyendo externalidades y co-impactos relevantes.
- Proponer un plan de contingencia para los riesgos potenciales de los sistemas de almacenamiento de energía estudiados.

2. METODOLOGÍA

2.1. Estructura del trabajo

El trabajo parte con una investigación de distintas tecnologías de almacenamiento de energía, con lo que se logra realizar una clasificación de éstas y esquemas del funcionamiento de cada una.

Teniendo lo anterior, se procede a plantear una metodología de análisis ambiental para aplicar en distintas tecnologías de almacenamiento de energía y ordenar éstas con respecto a los impactos ambientales que producen.

Para finalizar se analizan los resultados obtenidos. Concluyendo con los distintos resultados obtenidos y el trabajo que hay que realizar a futuro para lograr las metas propuestas como país.

2.2. Propuesta metodológica

2.2.1. Planteamiento general – Modelo propuesto

El siguiente diagrama muestra el planteamiento general del modelo propuesto:

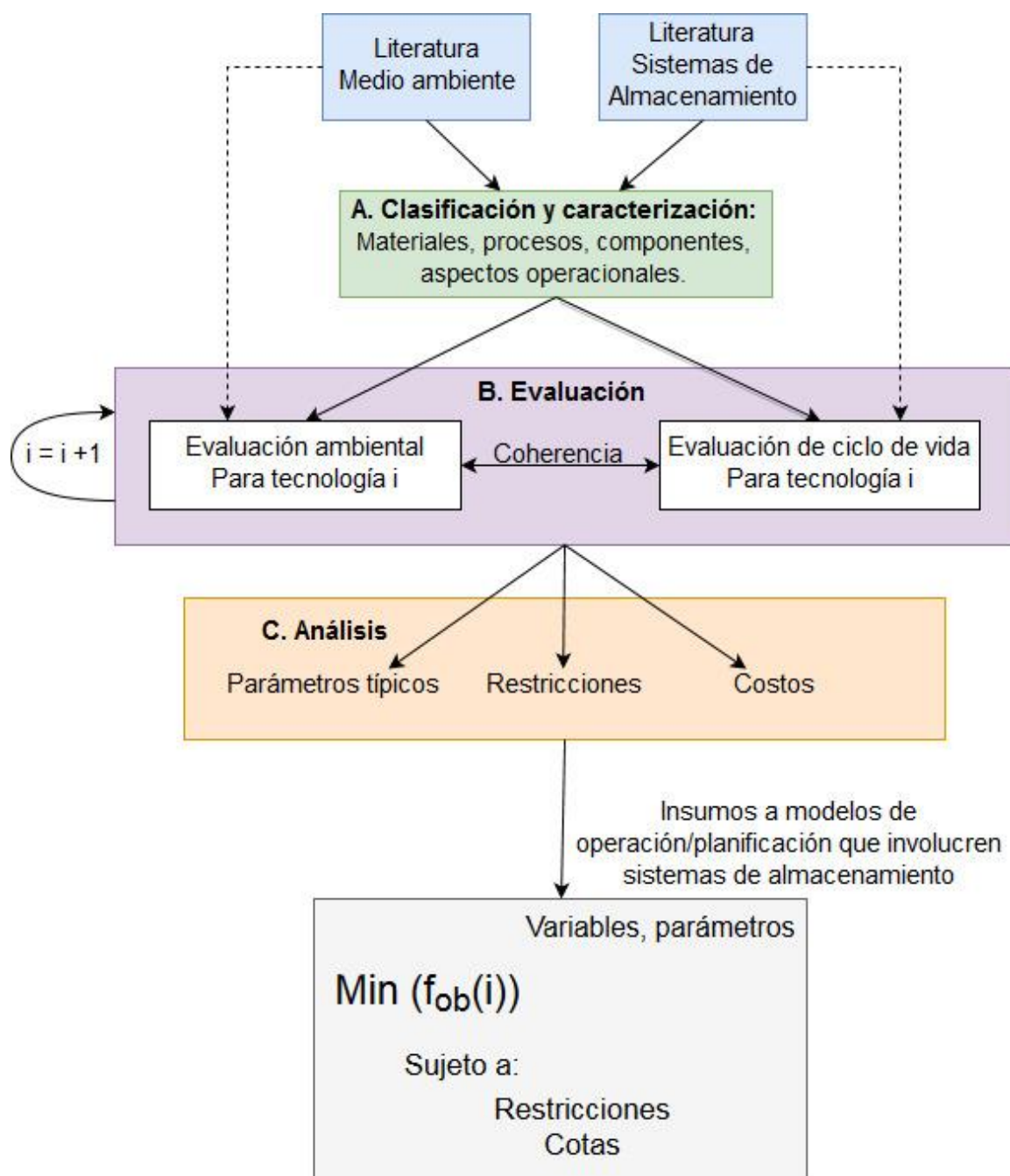


Figura 3: Diagrama del modelo propuesto de trabajo.

Mediante una revisión de la literatura medioambiental y la literatura de los sistemas de almacenamiento de energía, se logra llegar a una clasificación y caracterización de las distintas tecnologías considerando el tipo de almacenamiento que utilizan. También se toma en cuenta los materiales requeridos para su elaboración, sus procesos, componentes y aspectos operacionales.

Con los datos recopilados se definen los ámbitos en los que son evaluados cada uno de los sistemas. De lo investigado respecto a los sistemas de almacenamiento se considera su ciclo de vida: materias primas, implementación, operación y fin de vida útil. De la literatura ambiental se consideran los cinco aspectos que componen el eje ambiental al momento de evaluar la viabilidad de un proyecto: el aire, el suelo, el agua, los seres humanos y la flora y fauna. Teniendo esto último en cuenta analizamos cada tecnología por etapa de vida en cada ámbito. Para este análisis se resguarda la coherencia debido al acoplamiento existente entre las etapas y su interacción en los cinco núcleos.

De este modelo propuesto podemos concluir las restricciones que presentan las diferentes tecnologías de almacenamiento, los costos involucrados y los parámetros necesarios para poder servir de insumo a modelos de ordenación y planificación de sistemas de energía.

2.2.2. A. Clasificación y caracterización

En la literatura clasifican los sistemas de almacenamiento de energía de distintas formas, algunas de ellas se centran en la manera en que la energía entra al sistema mientras otras se enfocan en cómo ésta sale, al no existir una clasificación universal se dificulta la comprensión de éstos. Para lograr un mejor entendimiento y poder realizar un análisis entre las diversas tecnologías es necesario tener claras las fuentes energéticas,

los procesos que ocurren dentro del sistema y cuál es el elemento de acumulación de energía. Por lo que se decidió clasificar los sistemas de almacenamiento según sus componentes básicos y sus procesos al acumular energía para que al momento de que el lector requiera clasificar alguna tecnología de este tipo se encuentre en conocimiento de las técnicas involucradas y tome una decisión informada.

Se define un diagrama de flujo energético en el cual se especifican los componentes de cada tecnología marcando con distintos colores los procesos, equipamientos o materias primas (gris), el lugar donde se genera el almacenamiento de energía (naranja) y en qué momento ésta entra como fuente de energía o sale a la red eléctrica (morado). Luego se describe brevemente el funcionamiento de cada uno de los sistemas de almacenamiento.

Se presenta el siguiente diagrama a modo de ejemplo, el que corresponde a la tecnología de celda de combustible (fuel cell). Para cada una de las tecnologías estudiadas se realiza el mismo tipo de esquema.

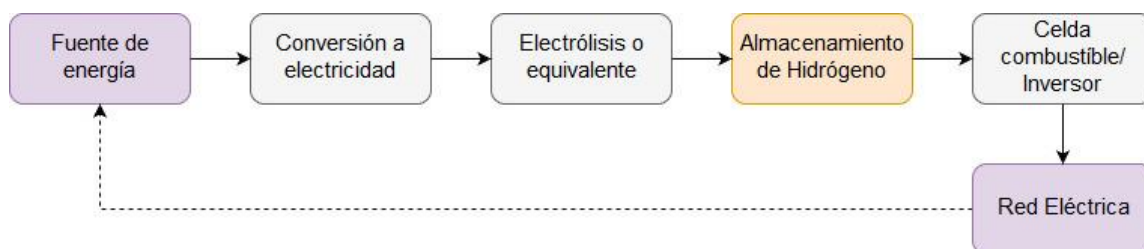


Figura 4: Diagrama de funcionamiento de un sistema de almacenamiento de energía.

2.2.3. B. Evaluación ambiental de los Sistemas de Almacenamiento

Al momento de realizar la evaluación ambiental, como se mencionó al principio de este capítulo, se toma el ciclo de vida de las tecnologías de almacenamiento de energía y los núcleos ambientales en los que se desarrolla la vida. Pero ¿a qué nos referimos con esto?, para el ciclo de vida de las tecnologías tenemos como primera etapa las

materias primas, en las cuales se incluyen los materiales necesarios para la construcción del sistema y los procesos que se requieren para la elaboración de estos. Como segunda etapa se encuentra la implementación. Aquí se contemplan todos los procesos necesarios para transformar las materias primas en un sistema de almacenamiento completamente funcional. La siguiente etapa corresponde a la operación o funcionamiento del sistema que contempla su vida útil. Por último, existe la etapa de fin de vida útil, en la cual se ve que ocurre con el sistema cuando deja de operar y como son manejados los desechos.

En la esfera ambiental, podemos encontrar los cinco ámbitos fundamentales en los que se desarrolla la vida humana. El primero de ellos es el aire. Al momento de evaluar en este núcleo se contemplan todas las emisiones de gases que se podrían producir en cada una de las etapas del ciclo de vida de las tecnologías de almacenamiento de energía. Luego evaluamos los impactos que se producen en el agua, debido al consumo de agua o residuos líquidos que se producen en las distintas etapas del sistema y que puedan alterar el ciclo natural de este o su composición. Para el ámbito suelo nos concentramos en ver si en alguna de las etapas del sistema se producen residuos sólidos que puedan afectar directamente la composición del suelo de la zona geográfica en la que se encuentra. También evaluaremos el ciclo de vida de las tecnologías de almacenamiento en la flora y fauna, considerando si alguno de los residuos que produce el sistema impacta directamente la vida de los animales no humanos o la vegetación que se encuentra cerca de la instalación, ya sean seres terrestres, acuáticos o aéreos. Y por último evaluamos los impactos que la tecnología en estudio provoca directamente en la salud humana.

A continuación, se presenta una tabla a modo de ejemplo, la que se utiliza más adelante para evaluar cada una de las tecnologías de almacenamiento. Las columnas

simbolizan las distintas etapas del ciclo de vida del sistema de almacenamiento de energía, y las filas representan a cada uno de los núcleos ambientales en los cuales se evalúan.

Tabla 2: Ejemplo de tablas utilizadas para evaluar ambientalmente los sistemas.

	Mat. Primas	Implementación	Operación	Fin de vida útil
Aire	<ul style="list-style-type: none"> • Impacto a • Riesgo a 	<ul style="list-style-type: none"> • Impacto b • Riesgo b 	<ul style="list-style-type: none"> • Impacto c • Riesgo c 	<ul style="list-style-type: none"> • Impacto d • Riesgo d
Agua	<ul style="list-style-type: none"> • Impacto e • Riesgo e 	<ul style="list-style-type: none"> • Impacto f • Riesgo f 	<ul style="list-style-type: none"> • Impacto g • Riesgo g 	<ul style="list-style-type: none"> • Impacto h • Riesgo h
Suelo	<ul style="list-style-type: none"> • Impacto i • Riesgo i 	<ul style="list-style-type: none"> • Impacto j • Riesgo j 	<ul style="list-style-type: none"> • Impacto k • Riesgo k 	<ul style="list-style-type: none"> • Impacto l • Riesgo l
Flora y Fauna	<ul style="list-style-type: none"> • Impacto m • Riesgo m 	<ul style="list-style-type: none"> • Impacto n • Riesgo n 	<ul style="list-style-type: none"> • Impacto o • Riesgo o 	<ul style="list-style-type: none"> • Impacto p • Riesgo p
Personas	<ul style="list-style-type: none"> • Impacto q • Riesgo q Comentarios: - Comentario a	<ul style="list-style-type: none"> • Impacto r • Riesgo r 	<ul style="list-style-type: none"> • Impacto s • Riesgo s 	<ul style="list-style-type: none"> • Impacto t • Riesgo t

El “impacto a” hace referencia a algún daño (o mejora) realizado por las materias primas al aire, en su proceso de elaboración, éstos son extraídos de literatura científica y son debidamente citados. Lo mismo ocurre con en el caso de los impactos b, c, d, etc. El “Riesgo a” implica algún riesgo que pueda ocurrir en alguna de las etapas del ciclo de vida del sistema de almacenamiento, lo mismo ocurre para los riesgos b, c, d, etc. Los comentarios corresponden a resultados del análisis de entrevistas y no necesariamente de alguna referencia directa.

2.2.4. C. Fase de análisis

Obtenidos los resultados, procedemos a realizar un análisis de los datos recopilados identificando los niveles de impactos que poseen los sistemas de almacenamiento estudiados, sus riesgos involucrados, los parámetros requeridos para integrarlos en el

sistema y las variables que los rigen. Con esto, el estudio puede ser utilizado como insumo a modelos de operación y planificación de sistemas de energía en el futuro.

La matriz de Leopold es un instrumento comúnmente usado para analizar los impactos ambientales que poseen distintos proyectos durante su etapa de planificación. Éste, es un método cualitativo en el cual se utiliza una matriz que tiene las actividades realizadas por el proyecto en las columnas y los factores ambientales a analizar en las filas. A las intersecciones de estos datos se les asignan dos valores el primero define la magnitud del impacto el cual tiene un rango de -10 a +10, siendo de valor negativo los impactos que causan daño al medio ambiente y de valor positivo los impactos que benefician a este. Y el segundo valor señala la importancia del impacto en el factor ambiental situado que va de 1 a 10. La siguiente tabla ejemplifica lo que simboliza cada valor (Ponce, 2008).

Tabla 3: Detalle de los valores para asignar a cada impacto.

MAGNITUD			IMPORTANCIA		
Intensidad	Afectación	Calificación	Duración	Influencia	Calificación
Baja	Baja	±1	Temporal	Puntual	+1
Baja	Media	±2	Media	Puntual	+2
Baja	Alta	±3	Permanente	Puntual	+3
Media	Baja	±4	Temporal	Local	+4
Media	Media	±5	Media	Local	+5
Media	Alta	±6	Permanente	Local	+6
Alta	Baja	±7	Temporal	Regional	+7
Alta	Media	±8	Media	Regional	+8
Alta	Alta	±9	Permanente	Regional	+9
Muy Alta	Alta	±10	Permanente	Nacional	+10

Con estos datos se puede lograr una jerarquización de los impactos y así poder poner más énfasis en dar solución a los sistemas con un mayor número de impactos negativos.

Para analizar los impactos realizados por las distintas unidades de almacenamiento de energía realizaremos una versión simplificada de la matriz de Leopold. Utilizaremos la misma tabla realizada en el punto anterior, pero en vez de poner impactos en las intersecciones, asignaremos valores al conjunto de impactos, utilizando los mismos criterios de la matriz de Leopold, expresando la magnitud en la parte superior e importancia en la parte inferior del cuadro.

A modo de ejemplo, en el caso de las centrales de bombeo hídrico logramos obtener la siguiente tabla.

Tabla 4: Asignación de valores a los impactos ambientales encontrados en una central de bombeo hídrico

	Mat. Primas	Implementación	Operación	Fin de vida útil
Aire	-8 / +9	-8 / +4	-9 / +9	0 / 0
Agua	-6 / +6	-4 / +4	0 / 0	0 / 0
Suelo	-8 / +6	-4 / +3	0 / 0	-2 / +3
Flora y Fauna	-4 / +5	-4 / +3	0 / 0	0 / 0
Personas	-4 / +2	+2 / +4	+4 / +4	-3 / +5

Los valores obtenidos con estas tablas de cuantificación serán agregados a las tablas de impactos. También se agregará un plan de contingencia para los riesgos encontrados y se separará la tabla por ámbito ambiental para que sea más fácil de apreciar. A continuación, se muestra una tabla corra modo de ejemplo.

Tabla 5: Ejemplo de tabla utilizada finalmente con impactos, valores, riesgos y plan de contingencia, suma de tabla 2 y tabla 4.

	Mat. Primas	Implementación	Operación	Fin de vida útil	
AIRE	Impactos	• Impacto a	• Impacto b	• Impacto c	Impacto d
	Valor impactos	-8/+9	-8/+4	-9/+9	0/0
	Riesgos	• Riesgo a	• Riesgo b	• Riesgo c	• Riesgo d
	Plan de Contingencia	Plan de contingencia para riesgo a	Plan de contingencia para riesgo b	Plan de contingencia para riesgo c	Plan de contingencia para riesgo d

Donde el valor de la izquierda hace referencia del valor asignado para magnitud del impacto y el valor de la derecha simboliza la importancia asignada a este impacto.

Con los datos obtenidos con estas tablas procederemos a graficarlos para realizar un análisis de los impactos que producen los sistemas de almacenamiento de energía por etapa del ciclo de vida, por núcleo ambiental y en cada sistema de almacenamiento individualmente. Para esto invertimos el signo de los valores con tal de que los gráficos fuesen sobre las cantidades de impactos negativos encontrados para cada sistema.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Descripción general

En este capítulo, se aplican las metodologías descritas en la sección anterior. Si bien existen más, se seleccionaron los siguientes diez tipos de almacenamiento de energía:

- Almacenamiento de bombeo hídrico (PHS)
- Almacenamiento energético de aire comprimido (CAES)
- Tecnologías de almacenamiento de energía cinética (Discos de inercia)
- Celdas de combustible
- Almacenamiento Power-to-gas
- Combustible Solar
- Baterías de Plomo/ácido
- Baterías de Litio-ión
- Baterías de flujo de Vanadio
- Almacenamiento térmico con materiales de cambio de fase (PCM TES).

3.2. A. Clasificación

Los sistemas de almacenamiento de energía se han clasificado en seis categorías distintas:

- Almacenamiento energético de bombeo hídrico.
- Almacenamiento energético de aire comprimido
- Tecnologías de almacenamiento de energía cinética
- Tecnologías de almacenamiento de combustible energético
- Tecnologías de almacenamiento de energía electroquímica
- Tecnologías de almacenamiento de energía térmica

En los esquemas que se presentan a continuación los cuadros de color **naranja** indican el lugar de almacenamiento de energía y los cuadros de color **morado** el sistema de red eléctrica o fuente de energía a través del cual llega a los hogares.

- **Almacenamiento energético de bombeo hídrico (PHS)**

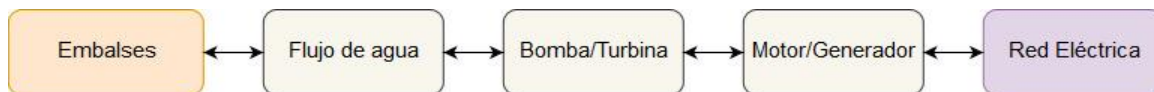


Figura 5: Diagrama de funcionamiento de un sistema de almacenamiento por bombeo hídrico.

Los PHS son capaces de almacenar grandes cantidades de energía en forma de energía potencial hidráulica. El bombeo de agua al reservorio superior ocurre cuando las demandas energéticas de la red son bajas y los costos de ésta también han disminuido. Luego cuando existe una necesidad de mayor energía ocurre el turbinamiento y la consecuente generación de electricidad (Deane, 2010).

- **Almacenamiento energético de aire comprimido (CAES)**

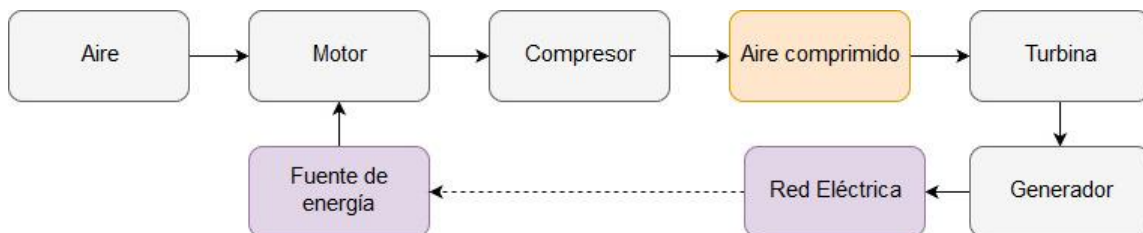


Figura 6: Diagrama de funcionamiento de un sistema de almacenamiento por aire comprimido.

Pueden almacenar grandes cantidades de energía. Para esto en los periodos que las demandas de energía son menores o bien de bajo costo, toman aire a presión atmosférica y lo comprimen depositándolo en un espacio sellado al vacío. Posteriormente pueden utilizar el aire comprimido para generar energía a través de una turbina/generador cuando las demandas energéticas aumenten o bien su precio sea alto (Chen, 2009). La línea segmentada muestra la posibilidad de que energía eléctrica disponible en la red pueda ser utilizada en el proceso de recarga del sistema de almacenamiento.

- **Tecnologías de almacenamiento de energía cinésica (Discos de inercia)**

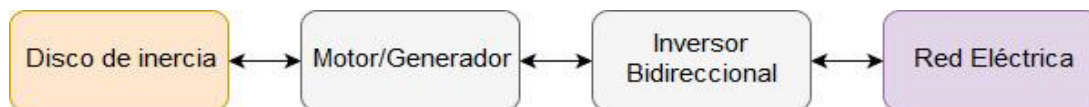


Figura 7: Diagrama de funcionamiento de un sistema de almacenamiento por discos de inercia.

El disco de inercia gira almacenando energía cinética durante el proceso de carga utilizando energía usualmente de la red eléctrica. Luego al momento de la descarga, se acciona un generador desacelerando el rotor y produciendo energía que se transfiere a la red para consumos en el sistema (Letcher, 2016).

- **Tecnologías de almacenamiento de combustible energético**

- Celdas de combustible hidrógeno

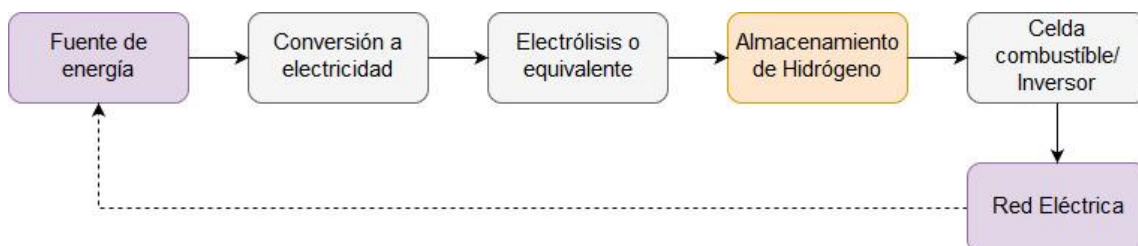


Figura 8: Diagrama de funcionamiento de un sistema de almacenamiento en celdas de combustible hidrógeno.

Las celdas de combustible tienen un proceso similar a las baterías, convierten la energía química en energía eléctrica y calor. La diferencia radica en que las celdas de combustible consumen el reactante, el cual debe ser constantemente reemplazado (Akorede, 2010).

- Power-to-gas

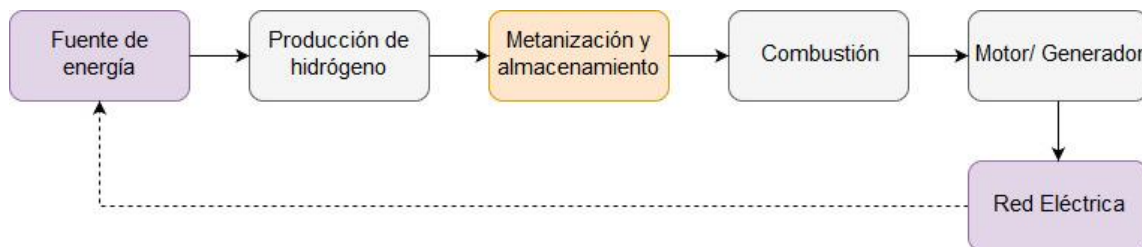


Figura 9: Diagrama de funcionamiento de un sistema de almacenamiento power-to-gas. Power-to-gas hace referencia al almacenamiento químico de energía en forma de sustancias gaseosas como metano o hidrógeno para luego convertirla a energía útil para consumos finales (Letcher, 2016).

- Combustible Solar

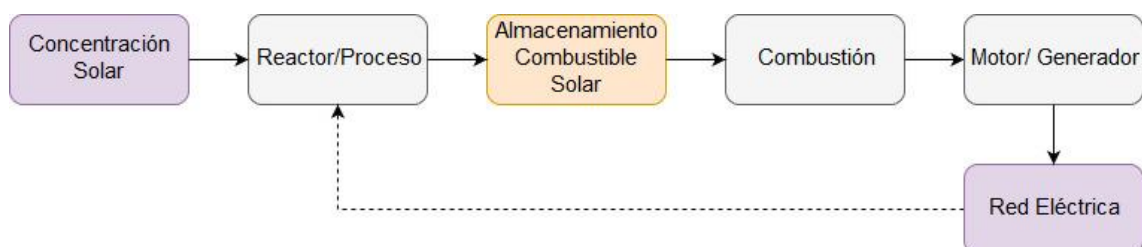


Figura 10: Diagrama de funcionamiento de un sistema de almacenamiento de combustible solar.

Este tipo de combustibles son producidos a través de la energía solar por vía directa o indirecta. Las vías directas producen el combustible en un sistema integrado, sin portadores de energía como intermediarios. Las vías indirectas pueden incluir la conversión de biomasa en biogás y la producción de hidrógeno por electrólisis del agua utilizando energía fotovoltaica (Hammarstrom, 2009).

- **Tecnologías de almacenamiento de energía electroquímica**



Figura 11: Diagrama de funcionamiento de un sistema de almacenamiento de energía electroquímica

- Pb
- Li distintos tipos
- Baterías de flujo de Vanadio

Las baterías o acumuladores electroquímicos reversibles son fuentes de almacenamiento de energía electroquímica para lo cual existen múltiples tecnologías tales como plomo/ácido, Níquel metal híbrido, Litio, etc. Se cargan cuando experimentan una reacción química interna al aplicar un potencial a los terminales y se descargan cuando la reacción ocurre en sentido contrario (Ribeiro, 2001).

- **Tecnologías de almacenamiento de energía térmica**

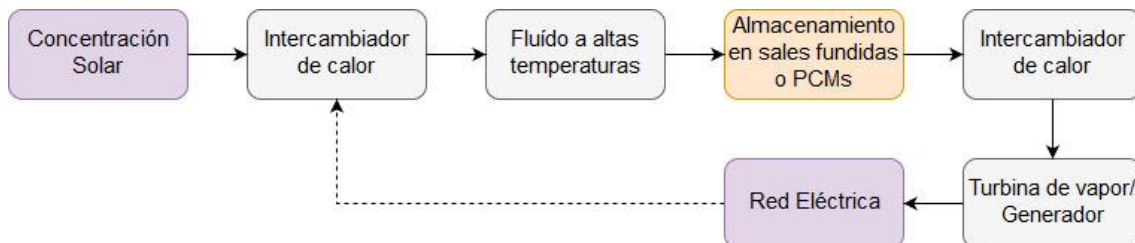


Figura 12: Diagrama de funcionamiento de un sistema de almacenamiento de energía térmica.

Las tecnologías de almacenamiento térmico utilizan el cambio en la energía interna de materiales sensibles al calor para almacenar energía térmica como es el caso de la energía solar de concentración en torre o cilindro parabólica (Sharma, 2009). La energía térmica permite fabricar vapor a través de intercambiadores de calor. Se acciona una turbina que a su vez acciona un generador eléctrico que permite inyectar energía a la red eléctrica.

3.3. B. Evaluación ambiental

- **Almacenamiento energético de bombeo hídrico (PHS)**

En la siguiente tabla se evalúa un Sistema de bombeo hídrico de flujo semicerrado esto implica que el sistema contiene un reservorio artificial y un reservorio natural y el agua fluye entre ambos dependiendo de si se necesita generar o entregar energía al sistema.

Tabla 6: Impactos y riesgos generados por un sistema de almacenamiento energético de bombeo hídrico al aire.

		Mat. Primas	Implementación	Operación	Fin de vida útil
AIRE	Impactos	<ul style="list-style-type: none"> • Altas emisiones de gases de efecto invernadero por el transporte de materias primas¹. • Altas emisiones de gases de efecto invernadero en la fabricación de concreto¹. • Altas emisión de gases invernadero en la producción de metales¹. • Emisión de elementos contribuyentes a la formación de lluvia ácida en la producción de metales². 	<ul style="list-style-type: none"> • Movimiento de tierra, extracción de roca, perforación y transporte de concreto aumentan el material particulado³. 	<ul style="list-style-type: none"> • Emisión de gases de efecto invernadero debido a la eliminación e inundación de biomasa existente en el terreno³. Comentarios: - Las algas generadas por la descarga de agua a mayores temperaturas ayudan a la fijación de gases de efecto invernadero. - Las centrales de bombeo tienen un efecto templador de la temperatura, variando la temperatura media del aire en el lugar en que se encuentran.	No se ha encontrado información de impactos de algún tipo.
	Valor impactos	-8/+9	-8/+4	-9/+9	0/0
	Riesgos	No se ha encontrado información de riesgos de algún tipo.	No se ha encontrado información de riesgos de algún tipo.	No se ha encontrado información de riesgos de algún tipo.	No se ha encontrado información de riesgos de algún tipo.
	Plan de Contingencia				

¹ Zabala I., "Life cycle assessment of building materials: Comparative analysis of energy and environmental impacts and evaluation of the eco-efficiency improvement potential", Building and Environment 46 (2011), 1133-1140

² Norgate T. E., "Assessing the environmental impact of metal production processes", Journal of Cleaner Production 15 (2007), 838-848.

³ Denholm P., "Life cycle energy requirements and greenhouse gas emissions from large scale energy storage systems", Energy Conversion and Management 45 (2004), 2153-2172.

Tabla 7: Impactos y riesgos generados por un sistema de almacenamiento energético de bombeo hídrico al agua.

		Mat. Primas	Implementación	Operación	Fin de vida útil
AGUA	Impactos	<ul style="list-style-type: none"> • Evaporación de grandes cantidades de agua en el enfriamiento de la producción de metales⁴. • Uso de agua potable al momento de lavar los agregados, evitar la suspensión de polvo y en el proceso de manufacturación del concreto⁴. 	Comentarios: - Reducción de los caudales de ríos al momento del llenado inicial del sistema.	No se ha encontrado información de impactos de algún tipo.	No se ha encontrado información de impactos de algún tipo.
	Valor impactos	-6/+6	-4/+4	0/0	0/0
	Riesgos	No se ha encontrado información de riesgos de algún tipo.	No se ha encontrado información de riesgos de algún tipo.	<ul style="list-style-type: none"> • El agua en el reservorio superior es tratada para evitar la proliferación de vida, lo cual puede afectar el equilibrio del sistema al momento de la descarga 	No se ha encontrado información de riesgos de algún tipo.
	Plan de Contingencia			Medir periódicamente los parámetros del agua superior para evitar descargas que afecten al sistema receptor.	

⁴ Greenspec.co.uk, "The environmental impact of concrete" (2018)

Tabla 8: Impactos y riesgos generados por un sistema de almacenamiento energético de bombeo hídrico al suelo

		Mat. Primas	Implementación	Operación	Fin de vida útil
SUELO	Impactos	<ul style="list-style-type: none"> • Pérdida de suelo agrícola en la producción de concreto⁴. • Los residuos explosivos de la extracción de acero empobrecen el suelo⁵. 	<ul style="list-style-type: none"> • Movimiento de tierra y transporte de concreto erosionan el suelo del lugar³. 	No se ha encontrado información de impactos de algún tipo.	Comentarios: <ul style="list-style-type: none"> • Difícil de revertir el uso de la planta.
	Valor impactos	-8/+6	-4/+3	0/0	-2/+3
	Riesgos	No se ha encontrado información de riesgos de algún tipo.	No se ha encontrado información de riesgos de algún tipo.	<ul style="list-style-type: none"> • Riesgo de inundación debido a alguna mala operación eventualmente generaría erosión y posibles aluviones. 	No se ha encontrado información de riesgos de algún tipo.
	Plan de Contingencia			Evaluación periódica de los niveles de agua en el reservorio superior.	

⁵ Gutierrez S., "Impacto ambiental del acero y el aluminio" (2013).

Tabla 9: Impactos y riesgos generados por un sistema de almacenamiento energético de bombeo hídrico a la flora y fauna.

		Mat. Primas	Implementación	Operación	Fin de vida útil
FLORA Y FAUNA	Impactos	<ul style="list-style-type: none"> Degradación del paisaje en la producción de concreto⁴. El procesamiento de materias primas puede producir sustancias tóxicas que entren en la cadena alimenticia⁶. 	<ul style="list-style-type: none"> Pérdida de cobertura vegetal⁷. 	No se ha encontrado información de impactos de algún tipo.	No se ha encontrado información de impactos de algún tipo.
	Valor impactos	-4/+5	-4/+3	0/0	0/0
	Riesgos	No se ha encontrado información de riesgos de algún tipo.	<ul style="list-style-type: none"> El ecosistema modificado puede volverse inestable, alimentando los vectores de enfermedades y produciendo pérdida de vegetación y animales acuáticos³. 	<ul style="list-style-type: none"> El ecosistema modificado puede volverse inestable, alimentando los vectores de enfermedades y produciendo pérdida de vegetación y animales acuáticos³. Las fluctuaciones artificiales de agua pueden dañar a la flora y fauna sensible que existe en el reservorio inferior⁸. La descarga de agua a mayores temperaturas que las del recipiente inferior puede generar la proliferación de algas que desequilibran el sistema. 	No se ha encontrado información de riesgos de algún tipo.
	Plan de Contingencia		Mantener controlado el sistema con mediciones periódicas de los parámetros fundamentales para una estabilidad en el sistema.	Mantener controlado el sistema con mediciones periódicas de los parámetros fundamentales para una estabilidad en el sistema.	

⁶ Ampofo-Anti N., "Green Building Handbook for South Africa", Chapter: The environmental impacts of construction materials use: a life cycle perspective (2009).

⁷ Denholm P., "Life cycle energy requirements and greenhouse gas emissions from large scale energy storage systems", Energy Conversion and Management 45 (2004), 2153-2172.

⁸ StoRE project, "Environmental performance of existing energy storage installations", Febrero 2012.

Tabla 10: Impactos y riesgos generados por un sistema de almacenamiento energético de bombeo hídrico a las personas.

		Mat. Primas	Implementación	Operación	Fin de vida útil
PERSONAS	Impactos	<ul style="list-style-type: none"> • Altos niveles de ruido en la fabricación de concreto⁴. • Altos niveles de ruido en la producción de acero¹ 	<ul style="list-style-type: none"> • Disminución en los niveles de desempleo, debido a que la planta podría contratar gente de las localidades aledañas³. 	<ul style="list-style-type: none"> • Disminución en los niveles de desempleo, debido a que la planta podría contratar gente de las localidades aledañas⁸. • Aumento en el turismo, siempre y cuando el embalse no sea sobre el nivel del suelo⁸. <p>Comentarios:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Embalse podría tener una doble funcionalidad, potenciar el turismo, agricultura, etc. 	<p>Comentarios:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Daño al paisaje natural del lugar. • Aumento en los niveles de desempleo debido al término de puestos de trabajo en la planta.
	Valor impactos	-4/+2	+2/+4	+4/+4	-3/+5
	Riesgos	<ul style="list-style-type: none"> • Toxicidad de la fabricación de concreto y acero es peligrosa para la salud humana de no ser prevenida correctamente. 	<ul style="list-style-type: none"> • Explosiones para crear el embalse generan altos niveles de ruido que podrían afectar a las localidades aledañas, en caso de existir alguna³. 	No se ha encontrado información de riesgos de algún tipo.	No se ha encontrado información de riesgos de algún tipo.
	Plan de Contingencia		Construir alejado de zonas habitadas		

- **Almacenamiento de energía de aire comprimido (CAES)**

La siguiente tabla evalúa un complejo de almacenamiento de aire comprimido en cavernas de sal subterráneas.

Tabla 11: Impactos y riesgos ocasionados por almacenamiento energético de aire comprimido al aire

		Mat. Primas	Implementación	Operación	Fin de vida útil
AIRE	Impactos	<ul style="list-style-type: none"> • Bajas emisiones de gases de efecto invernadero por el transporte de materias primas¹. • Bajas emisiones de gases de efecto invernadero en la fabricación de concreto¹. • Bajas emisiones de gases invernadero en la producción de metales¹. • Bajas emisiones de elementos contribuyentes a la formación de lluvia ácida en la producción de metales². 	<ul style="list-style-type: none"> • Aumento de material particulado debido al movimiento de tierra y concreto⁹. • Emisiones de gases invernadero al momento de usar combustibles fósiles en las maquinarias⁹. 	<ul style="list-style-type: none"> • Emisiones de gases invernadero en el caso de que el motor/compresor funcione a gas natural⁹. 	No se ha encontrado información de impactos de algún tipo.
	Valor impactos	-3/+6	-2/+4	-5/+4	0/0
	Riesgos	No se ha encontrado información de riesgos de algún tipo.	No se ha encontrado información de riesgos de algún tipo.	No se ha encontrado información de riesgos de algún tipo.	No se ha encontrado información de impactos de algún tipo.
	Plan de Contingencia				

⁹ Bouman E. A., "Environmental Impacts of balancing offshore wind power with compressed air energy storage (CAES)", Energy 95 (2016), 95.

Tabla 12: Impactos y riesgos ocasionados por almacenamiento energético de aire comprimido al agua

		Mat. Primas	Implementación	Operación	Fin de vida útil
AGUA	Impactos	<ul style="list-style-type: none"> • Evaporación de moderadas cantidades de agua en el enfriamiento de la producción de metales¹. • Uso de moderadas cantidades de agua potable al momento de lavar los agregados, evitar la suspensión de polvo y en el proceso de manufacturación del concreto⁴. 	<ul style="list-style-type: none"> • Baja ecotoxicidad de aguas dulces debido a la microfiltración de gases⁹. • Baja eutroficación debido a la microfiltración de gases⁹. 	<ul style="list-style-type: none"> • Baja ecotoxicidad de aguas dulces debido a la microfiltración de gases a napas subterráneas⁹ • Baja eutroficación debido a la microfiltración de gases a napas subterráneas⁹ 	No se ha encontrado información de impactos de algún tipo.
	Valor impactos	-6/+4	-3/+5	-1/+2	-1/+2
	Riesgos	No se ha encontrado información de riesgos de algún tipo.	No se ha encontrado información de riesgos de algún tipo.	No se ha encontrado información de riesgos de algún tipo.	No se ha encontrado información de riesgos de algún tipo.
	Plan de Contingencia				

Tabla 13: Impactos y riesgos ocasionados por almacenamiento energético de aire comprimido al suelo

		Mat. Primas	Implementación	Operación	Fin de vida útil
SUELO	Impactos	<ul style="list-style-type: none"> • Baja pérdida de suelo agrícola en la producción de concreto⁴. • Los residuos sólidos de la industria del concreto producen toxicidad en los suelos⁷. • Los residuos explosivos de la extracción de acero empobrecen el suelo⁵. • Agotamiento de recursos minerales debido a la extracción de materias primas⁹. 	<ul style="list-style-type: none"> • Movimiento de tierra y transporte de concreto erosionan el suelo del lugar³. 	No se ha encontrado información de impactos de algún tipo.	No se ha encontrado información de impactos de algún tipo.
	Valor impactos	-4/+2	-3/+5	0/0	0/0
	Riesgos	No se ha encontrado información de riesgos de algún tipo.	No se ha encontrado información de riesgos de algún tipo.	No se ha encontrado información de riesgos de algún tipo.	No se ha encontrado información de riesgos de algún tipo.
	Plan de Contingencia				

Tabla 14: Impactos y riesgos ocasionados por almacenamiento energético de aire comprimido a la flora y fauna

		Mat. Primas	Implementación	Operación	Fin de vida útil
FLORA Y FAUNA	Impactos	<ul style="list-style-type: none"> Baja degradación del paisaje en la producción de concreto⁴. 	<ul style="list-style-type: none"> Los movimientos de tierra generan baja pérdida de cobertura vegetal⁷. 	Comentarios: <ul style="list-style-type: none"> Bajo daño a la biota existente en napas subterráneas debido al desequilibrio del sistema por las microfiltraciones de aire. 	Comentarios: <ul style="list-style-type: none"> Daño a la biota adaptada a las microfiltraciones.
	Valor impactos	-1/+1	-1/+1	-4/+4	0/0
	Riesgos	No se ha encontrado información de riesgos de algún tipo.	No se ha encontrado información de riesgos de algún tipo.	No se ha encontrado información de riesgos de algún tipo.	No se ha encontrado información de riesgos de algún tipo.
	Plan de Contingencia				

Tabla 15: Impactos y riesgos ocasionados por almacenamiento energético de aire comprimido a las personas.

		Mat. Primas	Implementación	Operación	Fin de vida útil
PERSONAS	Impactos	<ul style="list-style-type: none"> Altos niveles de ruido, pero en bajas cantidades, en la fabricación de concreto⁴. Altos niveles de ruido, pero en bajas cantidades, en la producción de acero¹. 	<ul style="list-style-type: none"> Bajos niveles de ocupación de tierras⁹. Altos niveles de ruido debido a las maquinarias pesadas y los vehículos de transporte de materiales¹⁰. 	<ul style="list-style-type: none"> Altos niveles de ruido al momento de liberar el aire¹⁰. 	Comentarios: <ul style="list-style-type: none"> Daño al paisaje natural.
	Valor impactos	-7/+4	-5/+4	-6/+3	-2/+3
	Riesgos	No se ha encontrado información de riesgos de algún tipo.	No se ha encontrado información de riesgos de algún tipo.	No se ha encontrado información de riesgos de algún tipo.	No se ha encontrado información de riesgos de algún tipo.
	Plan de Contingencia				

¹⁰ U.S Department of Energy, "Final environmental assessment for the Pacific Gas and Electric Company (PG&E) compress air energy storage (CAES) compression testing phase project, San Joaquin County, California", Mayo 2014.

- **Tecnologías de almacenamiento de energía kinética (Discos de inercia)**

Tabla 16: Impactos y riesgos generados por almacenamiento kinésico de energía al aire

		Mat. Primas	Implementación	Operación	Fin de vida útil
AIRE	Impactos	<ul style="list-style-type: none"> • Moderada emisión de gases invernadero en la producción de metales¹. • Moderada emisión de elementos contribuyentes a la formación de lluvia ácida en la producción de metales². 	<ul style="list-style-type: none"> • Emisión de gases de efecto invernadero al momento de usar combustibles fósiles en las maquinarias⁷. • Aumento del material particulado debido al movimiento de tierra⁷. 	No se ha encontrado información de impactos de algún tipo.	No se ha encontrado información de impactos de algún tipo.
	Valor impactos	-6/+5	-4/+4	0/0	0/0
	Riesgos	No se ha encontrado información de riesgos de algún tipo.	No se ha encontrado información de riesgos de algún tipo.	No se ha encontrado información de riesgos de algún tipo.	No se ha encontrado información de riesgos de algún tipo.
	Plan de Contingencia				

Tabla 17: Impactos y riesgos generados por almacenamiento kinésico de energía al agua

		Mat. Primas	Implementación	Operación	Fin de vida útil
AGUA	Impactos	<ul style="list-style-type: none"> • Evaporación de moderadas cantidades de agua en el enfriamiento de la producción de metales¹. 	No se ha encontrado información de impactos de algún tipo.	No se ha encontrado información de impactos de algún tipo.	No se ha encontrado información de impactos de algún tipo.
	Valor impactos	-4/+1	0/0	0/0	0/0
	Riesgos	No se ha encontrado información de riesgos de algún tipo.	No se ha encontrado información de riesgos de algún tipo.	No se ha encontrado información de riesgos de algún tipo.	<ul style="list-style-type: none"> • De no ser reciclados los metales, la corrosión de estos puede llegar a los cuerpos de agua cercanos.
	Plan de Contingencia				Asegurarse de que los metales sean llevados a centros de reciclajes

Tabla 18: Impactos y riesgos generados por almacenamiento kinésico de energía al suelo

		Mat. Primas	Implementación	Operación	Fin de vida útil
SUELO	Impactos	<ul style="list-style-type: none"> Los residuos explosivos de la extracción de acero empobrecen el suelo⁵. 	<ul style="list-style-type: none"> Movimiento de tierra erosiona levemente el suelo del lugar³. 	No se ha encontrado información de impactos de algún tipo.	No se ha encontrado información de impactos de algún tipo.
	Valor impactos	-5/+5	-2/+2	0/0	0/0
	Riesgos	No se ha encontrado información de riesgos de algún tipo.	No se ha encontrado información de riesgos de algún tipo.	No se ha encontrado información de riesgos de algún tipo.	<ul style="list-style-type: none"> De no ser reciclados los metales, la corrosión de estos puede dañar la calidad del suelo.
	Plan de Contingencia				Asegurarse de que los metales sean llevados a centros de reciclajes

Tabla 19: Impactos y riesgos generados por almacenamiento kinésico de energía a la flora y fauna.

		Mat. Primas	Implementación	Operación	Fin de vida útil
FLORA Y FAUNA	Impactos	<ul style="list-style-type: none"> Baja degradación del paisaje en la producción de concreto⁴. 	<ul style="list-style-type: none"> Baja pérdida de cobertura vegetal⁷. 	No se ha encontrado información de impactos de algún tipo.	No se ha encontrado información de impactos de algún tipo.
	Valor impactos	-2/+2	-2/+2	0/0	0/0
	Riesgos	No se ha encontrado información de riesgos de algún tipo.	No se ha encontrado información de riesgos de algún tipo.	<ul style="list-style-type: none"> Peligro de rotura explosiva de la rueda por sobrecarga¹¹. 	No se ha encontrado información de riesgos de algún tipo.
	Plan de Contingencia			Revisión periódica del estado de la rueda.	

¹¹ Akorede M. F., "Distributed energy resources and benefits to the environment", Renewable and Sustainable Energy Reviews 14 (2010), 731.

Tabla 20: Impactos y riesgos generados por almacenamiento kinésico de energía a las personas

		Mat. Primas	Implementación	Operación	Fin de vida útil
PERSONAS	Impactos	<ul style="list-style-type: none"> Altos niveles de ruido en la producción de acero⁴. 	<ul style="list-style-type: none"> Aumento en los niveles de ruido Comentarios: <ul style="list-style-type: none"> Daño en el paisaje. 	No se ha encontrado información de impactos de algún tipo.	No se ha encontrado información de impactos de algún tipo.
	Valor impactos	-7/+4	-6/+4	0/0	0/0
	Riesgos	No se ha encontrado información de riesgos de algún tipo.	No se ha encontrado información de riesgos de algún tipo.	<ul style="list-style-type: none"> Crecimiento de grietas por defectos de materiales de construcción puede llevar a descargas eléctricas externas¹². 	No se ha encontrado información de riesgos de algún tipo.
	Plan de Contingencia			Revisión periódica del estado de las instalaciones	

¹² Bolund B., "Flywheel energy and power storage systems", Renewable and Sustainable Energy Reviews 11 (2007), 235-258.

- **Tecnologías de almacenamiento de combustible energético**

- Celdas de combustible hidrógeno

Tabla 21: Impactos y riesgos ambientales causados por las celdas de combustible hidrógeno al aire.

		Mat. Primas	Implementación	Operación	Fin de vida útil
AIRE	Impactos	<ul style="list-style-type: none"> • Baja emisión de gases invernadero en la producción de metales¹. • Baja emisión de gases contribuyentes a la formación de lluvia ácida en la producción de metales². 	Comentario: <ul style="list-style-type: none"> • Emisiones de gases invernadero en el transporte de materiales. 	<ul style="list-style-type: none"> • Bajas emisiones de gases invernadero¹³. 	No se ha encontrado información de impactos de algún tipo.
	Valor impactos	-3/+6	-3/+6	-3/+4	0/0
	Riesgos	No se ha encontrado información de riesgos de algún tipo.	No se ha encontrado información de riesgos de algún tipo.	<ul style="list-style-type: none"> • Las pérdidas de hidrógeno pueden ser dañinas para la capa de ozono¹⁴. • El hidrógeno perdido al ser oxidado en la estratosfera podría detener el calentamiento global y el derretimiento de los polos¹⁴. • El hidrógeno molecular puede contribuir a la producción de ozono a nivel del suelo y ozono troposférico¹⁵. 	No se ha encontrado información de riesgos de algún tipo.
	Plan de Contingencia			Revisar periódicamente el estado del sistema para evitar filtraciones.	

¹³ Granovsky M., "Economic and Environmental comparison of conventional, hybrid, electric and hydrogen fuel cell vehicles", Journal of Power Sources 159 (2006), 1188.

¹⁴ Physicsworld.com "Fuel Cells: environmental friend or foe?" 2003.

¹⁵ Upadhyaya J., "Environmental Impacts of Fuel Cell Technology for Electric Power Generation: An Overview and Case Studies", AIChE Annual Meeting, Conference Proceedings (2004).

Tabla 22: Impactos y riesgos ambientales causados por las celdas de combustible hidrógeno al agua.

		Mat. Primas	Implementación	Operación	Fin de vida útil
AGUA	Impactos	<ul style="list-style-type: none"> Evaporación de moderadas cantidades de agua en el enfriamiento de la producción de metales⁴. 	No se ha encontrado información de impactos de algún tipo.	No se ha encontrado información de impactos de algún tipo.	No se ha encontrado información de impactos de algún tipo.
	Valor impactos	-4/+2	0/0	0/0	0/0
	Riesgos	No se ha encontrado información de riesgos de algún tipo.	No se ha encontrado información de riesgos de algún tipo.	No se ha encontrado información de riesgos de algún tipo.	No se ha encontrado información de riesgos de algún tipo.
	Plan de Contingencia				

Tabla 23: Impactos y riesgos ambientales causados por las celdas de combustible hidrógeno al suelo.

		Mat. Primas	Implementación	Operación	Fin de vida útil
SUELO	Impactos	<ul style="list-style-type: none"> Los residuos explosivos de la extracción de metales empobrecen el suelo⁵. 	No se ha encontrado información de impactos de algún tipo.	No se ha encontrado información de impactos de algún tipo.	No se ha encontrado información de impactos de algún tipo.
	Valor impactos	-4/+2	0/0	0/0	0/0
	Riesgos	No se ha encontrado información de riesgos de algún tipo.	No se ha encontrado información de riesgos de algún tipo.	No se ha encontrado información de riesgos de algún tipo.	No se ha encontrado información de riesgos de algún tipo.
	Plan de Contingencia				

Tabla 24: Impactos y riesgos ambientales causados por las celdas de combustible hidrógeno a la flora y fauna

		Mat. Primas	Implementación	Operación	Fin de vida útil
FLORA Y FAUNA	Impactos	No se ha encontrado información de impactos de algún tipo.	No se ha encontrado información de impactos de algún tipo.	No se ha encontrado información de impactos de algún tipo.	No se ha encontrado información de impactos de algún tipo.
	Valor impactos	0/0	0/0	0/0	0/0
	Riesgos	No se ha encontrado información de riesgos de algún tipo.	No se ha encontrado información de riesgos de algún tipo.	No se ha encontrado información de riesgos de algún tipo.	No se ha encontrado información de riesgos de algún tipo.
	Plan de Contingencia				

Tabla 25: Impactos y riesgos ambientales causados por las celdas de combustible hidrógeno a las personas.

		Mat. Primas	Implementación	Operación	Fin de vida útil
PERSONAS	Impactos	<ul style="list-style-type: none"> Altos niveles de ruido en la producción de acero¹. 	No se ha encontrado información de impactos de algún tipo.	No se ha encontrado información de impactos de algún tipo.	No se ha encontrado información de impactos de algún tipo.
	Valor impactos	-7/+4	-6/+1	0/0	0/0
	Riesgos	No se ha encontrado información de riesgos de algún tipo.	<ul style="list-style-type: none"> Altamente explosivas. 	No se ha encontrado información de riesgos de algún tipo.	No se ha encontrado información de riesgos de algún tipo.
	Plan de Contingencia		Mantener el sistema en un lugar seguro y con condiciones atmosféricas controladas, alejado de zonas habitadas.		

- Power-to-gas

Tabla 26: Impactos ambientales y riesgos causados por el sistema Power-to-Gas al aire.

	Mat. Primas	Implementación	Operación	Fin de vida útil	
AIRE	Impactos	No se ha encontrado información de impactos de algún tipo.	Comentarios: <ul style="list-style-type: none"> • Emisiones de gases invernadero en el transporte de materias primas. 	No se ha encontrado información de impactos de algún tipo.	
	Valor impactos	0/0	-3/+5	0/0	
	Riesgos	No se ha encontrado información de riesgos de algún tipo.	No se ha encontrado información de riesgos de algún tipo.	<ul style="list-style-type: none"> • El hidrógeno es un gas inflamable, por lo que filtraciones pueden ser un problema¹⁶. • El oxígeno es altamente corrosivo e intensificador del fuego, por lo que filtraciones pueden ser un problema¹⁶. • Las altas presiones durante la metanización pueden llevar a las filtraciones de gases de metano, dióxido de carbono e hidrógeno los cuales son inflamables o asfixiantes¹⁶. • La presencia de oxígeno durante la metanización puede llevar a la autocombustión del hidrógeno debido a las altas temperaturas que se requieren para el proceso¹⁶. • Cuando la temperatura ideal no es alcanzada en la metanización se puede producir monóxido de carbono, hidrocarburos grandes y tetracarbonilo de níquel. La formación de estos compuestos puede bloquear las cañerías y llevar a situaciones peligrosas¹⁶. 	No se ha encontrado información de riesgos de algún tipo.
	Plan de Contingencia			Revisar periódicamente las condiciones térmicas del sistema y verificar que no existan filtraciones.	

¹⁶ TKI Gas – TKI 01015, “Power-to-gas project in Rozenburg, The Netherlands”, Technical Assumptions, technology demonstration and results P2G project, abril 2015.

Tabla 27: Impactos ambientales y riesgos causados por el sistema Power-to-Gas al agua.

		Mat. Primas	Implementación	Operación	Fin de vida útil
AGUA	Impactos	No se ha encontrado información de impactos de algún tipo.	No se ha encontrado información de impactos de algún tipo.	No se ha encontrado información de impactos de algún tipo.	No se ha encontrado información de impactos de algún tipo.
	Valor impactos	0/0	0/0	0/0	0/0
	Riesgos	No se ha encontrado información de riesgos de algún tipo.	No se ha encontrado información de riesgos de algún tipo.	<ul style="list-style-type: none"> • El agua formada durante la metanización puede contener trazas de níquel¹⁶. • Las altas temperaturas de las aguas residuales pueden reaccionar negativamente con el agua del alcantarillado¹⁶. 	No se ha encontrado información de riesgos de algún tipo.
	Plan de Contingencia			Revisar los niveles de metales en las aguas residuales y la temperatura de éstas antes de descartarla al alcantarillado.	

Tabla 28: Impactos ambientales y riesgos causados por el sistema Power-to-Gas al suelo

		Mat. Primas	Implementación	Operación	Fin de vida útil
SUELO	Impactos	No se ha encontrado información de impactos de algún tipo.	No se ha encontrado información de impactos de algún tipo.	No se ha encontrado información de impactos de algún tipo.	No se ha encontrado información de impactos de algún tipo.
	Valor impactos	0/0	0/0	0/0	0/0
	Riesgos	No se ha encontrado información de riesgos de algún tipo.	No se ha encontrado información de riesgos de algún tipo.	No se ha encontrado información de riesgos de algún tipo.	No se ha encontrado información de riesgos de algún tipo.
	Plan de Contingencia				

Tabla 29: Impactos ambientales y riesgos causados por el sistema Power-to-Gas a la flora y fauna.

		Mat. Primas	Implementación	Operación	Fin de vida útil
FLORA Y FAUNA	Impactos	No se ha encontrado información de impactos de algún tipo.	No se ha encontrado información de impactos de algún tipo.	No se ha encontrado información de impactos de algún tipo.	No se ha encontrado información de impactos de algún tipo.
	Valor impactos	0/0	0/0	0/0	0/0
	Riesgos	No se ha encontrado información de riesgos de algún tipo.	No se ha encontrado información de riesgos de algún tipo.	No se ha encontrado información de riesgos de algún tipo.	No se ha encontrado información de riesgos de algún tipo.
	Plan de Contingencia				

Tabla 30: Impactos ambientales y riesgos causados por el sistema Power-to-Gas a las personas.

		Mat. Primas	Implementación	Operación	Fin de vida útil
PERSONAS	Impactos	No se ha encontrado información de impactos de algún tipo.	No se ha encontrado información de impactos de algún tipo.	No se ha encontrado información de impactos de algún tipo.	No se ha encontrado información de impactos de algún tipo.
	Valor impactos	0/0	0/0	0/0	0/0
	Riesgos	No se ha encontrado información de riesgos de algún tipo.	No se ha encontrado información de riesgos de algún tipo.	No se ha encontrado información de riesgos de algún tipo.	No se ha encontrado información de riesgos de algún tipo.
	Plan de Contingencia				

- Combustible Solar

Tabla 31: Impactos ambientales y riesgos ocasionados por el almacenamiento de combustible solar al aire.

		Mat. Primas	Implementación	Operación	Fin de vida útil
AIRE	Impactos	No se ha encontrado información de impactos de algún tipo.	Comentario: - Emisiones de efecto invernadero	• Disminuyen la combustión de combustibles fósiles ¹⁷	No se ha encontrado información de impactos de algún tipo.
	Valor impactos	0/0	-3/+5	+6/+5	0/0
	Riesgos	No se ha encontrado información de riesgos de algún tipo.	No se ha encontrado información de riesgos de algún tipo.	No se ha encontrado información de riesgos de algún tipo.	No se ha encontrado información de riesgos de algún tipo.
	Plan de Contingencia				

Tabla 32: Impactos ambientales y riesgos ocasionados por el almacenamiento de combustible solar al agua.

		Mat. Primas	Implementación	Operación	Fin de vida útil
AGUA	Impactos	No se ha encontrado información de impactos de algún tipo.	No se ha encontrado información de impactos de algún tipo.	No se ha encontrado información de impactos de algún tipo.	No se ha encontrado información de impactos de algún tipo.
	Valor impactos	0/0	0/0	0/0	0/0
	Riesgos	No se ha encontrado información de riesgos de algún tipo.	No se ha encontrado información de riesgos de algún tipo.	No se ha encontrado información de riesgos de algún tipo.	No se ha encontrado información de riesgos de algún tipo.
	Plan de Contingencia				

¹⁷ Chen H., "Progress in electrical energy storage system. A critical review", Progress in Natural Science 19 (2009), 291-312.

Tabla 33: Impactos ambientales y riesgos ocasionados por el almacenamiento de combustible solar al suelo.

		Mat. Primas	Implementación	Operación	Fin de vida útil
SUELO	Impactos	No se ha encontrado información de impactos de algún tipo.	No se ha encontrado información de impactos de algún tipo.	No se ha encontrado información de impactos de algún tipo.	No se ha encontrado información de impactos de algún tipo.
	Valor impactos	0/0	0/0	0/0	0/0
	Riesgos	No se ha encontrado información de riesgos de algún tipo.	No se ha encontrado información de riesgos de algún tipo.	No se ha encontrado información de riesgos de algún tipo.	No se ha encontrado información de riesgos de algún tipo.
	Plan de Contingencia				

Tabla 34: Impactos ambientales y riesgos ocasionados por el almacenamiento de combustible solar a la flora y fauna.

		Mat. Primas	Implementación	Operación	Fin de vida útil
FLORA Y FAUNA	Impactos	No se ha encontrado información de impactos de algún tipo.	No se ha encontrado información de impactos de algún tipo.	Comentarios: - Muerte de aves por desorientación - Cambio en los patrones de migración.	No se ha encontrado información de impactos de algún tipo.
	Valor impactos	0/0	0/0	-5/+6	0/0
	Riesgos	No se ha encontrado información de riesgos de algún tipo.	No se ha encontrado información de riesgos de algún tipo.	No se ha encontrado información de riesgos de algún tipo.	No se ha encontrado información de riesgos de algún tipo.
	Plan de Contingencia				

Tabla 35: Impactos ambientales y riesgos ocasionados por el almacenamiento de combustible solar a las personas.

		Mat. Primas	Implementación	Operación	Fin de vida útil
PERSONAS	Impactos	<ul style="list-style-type: none"> Manufacturación de celdas fotovoltaicas produce algunos materiales y químicos tóxicos¹⁸. 	No se ha encontrado información de impactos de algún tipo.	No se ha encontrado información de impactos de algún tipo.	No se ha encontrado información de impactos de algún tipo.
	Valor impactos	-3/+1	0/0	0/0	0/0
	Riesgos	No se ha encontrado información de riesgos de algún tipo.	No se ha encontrado información de riesgos de algún tipo.	No se ha encontrado información de riesgos de algún tipo.	No se ha encontrado información de riesgos de algún tipo.
	Plan de Contingencia				

¹⁸ Energy4me, "Environmental impact by source" (2015).

- **Tecnologías de almacenamiento electroquímico de energía.**
 - Baterías Plomo/Ácido

Tabla 36: Impactos ambientales y riesgos ocasionados por las baterías de Plomo/Ácido al aire.

		Mat. Primas	Implementación	Operación	Fin de vida útil
AIRE	Impactos	<ul style="list-style-type: none"> • Emisión de gases invernadero durante la extracción de plomo¹⁹. 	<ul style="list-style-type: none"> • Emisión de gases invernadero al momento del uso de polipropileno y procesamiento del plomo¹⁷. 	<ul style="list-style-type: none"> • Emisión de gases invernadero¹⁹. 	Comentarios: - El proceso de reciclaje del plomo produce emisiones de gases invernadero.
	Valor impactos	-6/+5	-6/+5	-6/+5	-6/+5
	Riesgos	<ul style="list-style-type: none"> • Ácido sulfúrico puede volatilizarse y contribuir a la formación de lluvia ácida. 	No se ha encontrado información de riesgos de algún tipo.	No se ha encontrado información de riesgos de algún tipo.	<ul style="list-style-type: none"> • Si no son recicladas correctamente el plomo llega a la atmosfera.
	Plan de Contingencia	Mantener el ácido sulfúrico en condiciones controladas y almacenado de manera segura			Llevar los residuos que contengan metales a centros de reciclaje certificados para el manejo de metales pesados.

¹⁹ McKenna E., "Economic and environmental impact of lead-acid batteries in grid-connected domestic PV systems", Applied Energy 104 (2013), 247.

Tabla 37: Impactos ambientales y riesgos ocasionados por las baterías de Plomo/Ácido al agua.

		Mat. Primas	Implementación	Operación	Fin de vida útil
AGUA	Impactos	<ul style="list-style-type: none"> Ácido sulfúrico es corrosivo y daña a los sistemas acuáticos²⁰. Comentarios: - El plomo depositado en los cuerpos de agua los vuelve tóxicos.	No se ha encontrado información de impactos de algún tipo.	No se ha encontrado información de impactos de algún tipo.	No se ha encontrado información de impactos de algún tipo.
	Valor impactos	-9/+8	0/0	0/0	0/0
	Riesgos	No se ha encontrado información de riesgos de algún tipo.	<ul style="list-style-type: none"> Las pérdidas de ácido sulfúrico podrían llegar a los caudales de agua acidificando éstos²¹. 	<ul style="list-style-type: none"> Las filtraciones de ácido sulfúrico pueden llegar a los caudales de agua produciendo la acidificación de éstos 	<ul style="list-style-type: none"> De no ser reciclado el ácido podría llegar a los caudales de agua produciendo la acidificación de éstos.
	Plan de Contingencia		Mantener el ácido en recipientes aptos para su almacenamiento y tener personal capacitado para el manejo de materiales corrosivos.	Revisar periódicamente la integridad del sistema de almacenamiento para evitar filtraciones.	Llevar el ácido a un centro de reciclaje certificado para el manejo de sustancias corrosivas.

²⁰ Oberschmidt J., "Electricity, Transmission, Distribution and Storage Systems" (2013), 281-308.

²¹ Zhang J., "Study on the environmental risk assessment of lead-acid batteries", Procedia Environmental Science 31 (2016), 873-879.

Tabla 38: Impactos ambientales y riesgos ocasionados por las baterías de Plomo/Ácido al suelo.

		Mat. Primas	Implementación	Operación	Fin de vida útil
SUELO	Impactos	<ul style="list-style-type: none"> • Agotamiento de combustibles fósiles durante la extracción de plomo¹⁹. • Agotamiento de recursos minerales debido a la extracción de materias primas⁹. 	<ul style="list-style-type: none"> • Agotamiento de combustibles fósiles durante el uso de polipropileno y procesamiento del plomo¹⁹. 	<ul style="list-style-type: none"> • Agotamiento de plomo durante su uso en la batería¹⁹. 	No se ha encontrado información de impactos de algún tipo.
	Valor impactos	-6/+6	-6/+6	-3/+3	0/0
	Riesgos	No se ha encontrado información de riesgos de algún tipo.	No se ha encontrado información de riesgos de algún tipo.	No se ha encontrado información de riesgos de algún tipo.	<ul style="list-style-type: none"> • De no ser recicladas el plomo se deposita en el suelo.
	Plan de Contingencia				Llevar los residuos que contengan metales a centros de reciclaje certificados para el manejo de metales pesados.

Tabla 39: Impactos ambientales y riesgos ocasionados por las baterías de Plomo/Ácido a la flora y fauna.

		Mat. Primas	Implementación	Operación	Fin de vida útil
FLORA Y FAUNA	Impactos	<ul style="list-style-type: none"> • El ácido sulfúrico es corrosivo para la vegetación y produce quemaduras en los seres vivos²⁰. • Plomo es un metal pesado tóxico dañino para los seres vivos²². 	No se ha encontrado información de impactos de algún tipo.	No se ha encontrado información de impactos de algún tipo.	No se ha encontrado información de impactos de algún tipo.
	Valor impactos	-9/+3	0/0	0/0	0/0
	Riesgos	No se ha encontrado información de riesgos de algún tipo.	<ul style="list-style-type: none"> • Daño en los seres vivos y ecosistema por las pérdidas de ácido sulfúrico, el cual es corrosivo y produce quemaduras²¹. 	No se ha encontrado información de riesgos de algún tipo.	<ul style="list-style-type: none"> • El ácido es corrosivo y puede dañar a la vegetación y a la fauna²⁰.
	Plan de Contingencia		Mantener el ácido en recipientes aptos para su almacenamiento y tener personal capacitado para el manejo de materiales corrosivos.		Llevar el ácido a un centro de reciclaje certificado para el manejo de sustancias corrosivas.

²² Hall P., "Energy-storage technologies and electricity generation", Energy Policy 36 (2008), 4352-4355.

Tabla 40: Impactos ambientales y riesgos ocasionados por las baterías de Plomo/Ácido a las personas.

		Mat. Primas	Implementación	Operación	Fin de vida útil
PERSONAS	Impactos	<ul style="list-style-type: none"> Plomo es un metal pesado tóxico que puede causar daños cerebrales y renales²². 	No se ha encontrado información de impactos de algún tipo.	No se ha encontrado información de impactos de algún tipo.	<ul style="list-style-type: none"> El plomo es tóxico para los seres humanos, dañando los riñones y el cerebro²².
	Valor impactos	-9/+3	0/0	0/0	-9/+3
	Riesgos	No se ha encontrado información de riesgos de algún tipo.	<ul style="list-style-type: none"> Se podrían producir quemaduras graves debido a pérdidas de ácido sulfúrico²¹. 	<ul style="list-style-type: none"> Se podrían producir quemaduras graves debido a pérdidas de ácido sulfúrico²¹. 	No se ha encontrado información de riesgos de algún tipo.
	Plan de Contingencia		Mantener el ácido en recipientes aptos para su almacenamiento y tener personal capacitado para el manejo de materiales corrosivos.	Revisar periódicamente la integridad del sistema de almacenamiento para evitar filtraciones y tener personal capacitado para el manejo de sustancias corrosivas.	

○ Baterías de Litio

Tabla 41: Impactos ambientales y riesgos ocasionados por las baterías de Litio al aire.

		Mat. Primas	Implementación	Operación	Fin de vida útil
AIRE	Impactos	<ul style="list-style-type: none"> Emisión de gases invernadero atribuibles a la extracción de litio²³. Desgaste en la capa de ozono en la elaboración del aluminio para el cátodo²⁴. 	No se ha encontrado información de impactos de algún tipo.	<ul style="list-style-type: none"> Liberación de químicos que aumentan el potencial de oxidación fotoquímica²⁴. 	No se ha encontrado información de impactos de algún tipo.
	Valor impactos	-6/+6	0/0	-6/+6	0/0
	Riesgos	No se ha encontrado información de riesgos de algún tipo.	No se ha encontrado información de riesgos de algún tipo.	No se ha encontrado información de riesgos de algún tipo.	No se ha encontrado información de riesgos de algún tipo.
	Plan de Contingencia				

²³ Zackrisson M., "Life cycle assessment of lithium-ion batteries for plug-in hybrid electric vehicles – Critical issues", Journal of cleaner production 18 (2010), 1519-1529.

²⁴ U.S Environmental Protection Agency, "Application of life-cycle assessment to nanoscale technology: Lithium-ion batteries for electric vehicles", Abril 2013.

Tabla 42: Impactos ambientales y riesgos ocasionados por las baterías de Litio al agua.

		Mat. Primas	Implementación	Operación	Fin de vida útil
AGUA	Impactos	<ul style="list-style-type: none"> Potencial de eutrofización positivo en la elaboración de acero laminado²⁴. 	No se ha encontrado información de impactos de algún tipo.	No se ha encontrado información de impactos de algún tipo.	No se ha encontrado información de impactos de algún tipo.
	Valor impactos	-3/+3	0/0	0/0	0/0
	Riesgos	No se ha encontrado información de riesgos de algún tipo.	No se ha encontrado información de riesgos de algún tipo.	No se ha encontrado información de riesgos de algún tipo.	<ul style="list-style-type: none"> Lixiviados corrosivos que pueden afectar aguas superficiales y subterráneas
	Plan de Contingencia				Verificar la composición de los lixiviados antes de descartarlos.

Tabla 43: Impactos ambientales y riesgos ocasionados por las baterías de Litio al suelo.

		Mat. Primas	Implementación	Operación	Fin de vida útil
SUELO	Impactos	<ul style="list-style-type: none"> Acidificación producida por la elaboración del cátodo²⁴. 	No se ha encontrado información de impactos de algún tipo.	No se ha encontrado información de impactos de algún tipo.	<ul style="list-style-type: none"> El reciclaje de litio reduce la demanda de material virgen y retarda el agotamiento de recursos²⁵.
	Valor impactos	-5/+3	0/0	0/0	+6/+3
	Riesgos	No se ha encontrado información de riesgos de algún tipo.	No se ha encontrado información de riesgos de algún tipo.	No se ha encontrado información de riesgos de algún tipo.	<ul style="list-style-type: none"> Su degradación deja metales pesados y componentes tóxicos en el suelo.
	Plan de Contingencia				Llevar los metales a un centro de reciclaje certificado.

²⁵ Gaines L., "Lithium-ion Batteries: Advances and applications" (2014), 483-508.

Tabla 44: Impactos ambientales y riesgos ocasionados por las baterías de Litio a la flora y fauna.

		Mat. Primas	Implementación	Operación	Fin de vida útil
FLORA Y FAUNA	Impactos	<ul style="list-style-type: none"> Litio elemental es inflamable y muy reactivo²². 	No se ha encontrado información de impactos de algún tipo.	No se ha encontrado información de impactos de algún tipo.	Comentarios: - El Litio es un material de bajo costo, por lo que no es rentable reciclarlo y termina en vertederos o como relleno de hormigón.
	Valor impactos	-6/+3	0/0	0/0	-6/+3
	Riesgos	<ul style="list-style-type: none"> Potencial toxicidad ecológica al extraer y procesar metales²⁴. 	No se ha encontrado información de riesgos de algún tipo.	No se ha encontrado información de riesgos de algún tipo.	No se ha encontrado información de riesgos de algún tipo.
	Plan de Contingencia	Revisar que las normas de seguridad sean cumplidas y tener personal capacitado para la prevención desastres ecológicos.			

Tabla 45: Impactos ambientales y riesgos ocasionados por las baterías de Litio a las personas.

		Mat. Primas	Implementación	Operación	Fin de vida útil
PERSONAS	Impactos	No se ha encontrado información de impactos de algún tipo.	No se ha encontrado información de impactos de algún tipo.	<ul style="list-style-type: none"> Toxicidad de los gases que emite²⁴. 	No se ha encontrado información de impactos de algún tipo.
	Valor impactos	0/0	0/0	-4/+2	0/0
	Riesgos	<ul style="list-style-type: none"> Riesgo de cáncer ocupacional en la extracción de metales²⁴. 	<ul style="list-style-type: none"> Riesgo de cáncer ocupacional si se utilizan combustibles fósiles al momento de cargar la batería²⁴. 	<ul style="list-style-type: none"> Pueden explotar debido a que se sobrecalientan 	No se ha encontrado información de riesgos de algún tipo.
	Plan de Contingencia	Deben existir medidas de seguridad apropiadas para evitar cualquier clase de riesgo a los trabajadores.	Deben existir medidas de seguridad apropiadas para evitar cualquier clase de riesgo a los trabajadores.	Medir periódicamente la temperatura ambiental de donde se ubican las baterías y la temperatura de estas.	

○ Baterías de flujo de Vanadio

Tabla 46: Impactos ambientales y riesgos ocasionados por las baterías de flujo de Vanadio al aire.

		Mat. Primas	Implementación	Operación	Fin de vida útil
AIRE	Impactos	Comentarios: - Emisión de gases invernadero en la extracción de materias primas.	No se ha encontrado información de impactos de algún tipo.	No se ha encontrado información de impactos de algún tipo.	Comentarios: - Emisión de gases de efecto invernadero por la incineración del polipropileno.
	Valor impactos	-3/+6	0/0	0/0	-3/+6
	Riesgos	No se ha encontrado información de riesgos de algún tipo.	No se ha encontrado información de riesgos de algún tipo.	No se ha encontrado información de riesgos de algún tipo.	No se ha encontrado información de riesgos de algún tipo.
	Plan de Contingencia				

Tabla 47: Impactos ambientales y riesgos ocasionados por las baterías de flujo de Vanadio al agua.

		Mat. Primas	Implementación	Operación	Fin de vida útil
AGUA	Impactos	• Ácido sulfúrico es corrosivo ²⁶ es corrosivo y daña los sistemas acuáticos.	No se ha encontrado información de impactos de algún tipo.	No se ha encontrado información de impactos de algún tipo.	No se ha encontrado información de impactos de algún tipo.
	Valor impactos	-6/+3	0/0	0/0	0/0
	Riesgos	No se ha encontrado información de riesgos de algún tipo.	No se ha encontrado información de riesgos de algún tipo.	No se ha encontrado información de riesgos de algún tipo.	No se ha encontrado información de riesgos de algún tipo.
	Plan de Contingencia				

²⁶ Letcher T. M., "Storing Energy: with Special Reference to Renewable Energy Sources" (2016), 239-240.

Tabla 48: Impactos ambientales y riesgos ocasionados por las baterías de flujo de Vanadio al suelo.

		Mat. Primas	Implementación	Operación	Fin de vida útil
SUELO	Impactos	<ul style="list-style-type: none"> Vanadio es un metal pesado tóxico que se acumula en el suelo²⁶. 	No se ha encontrado información de impactos de algún tipo.	No se ha encontrado información de impactos de algún tipo.	No se ha encontrado información de impactos de algún tipo.
	Valor impactos	-6/+3	0/0	0/0	0/0
	Riesgos	No se ha encontrado información de riesgos de algún tipo.	No se ha encontrado información de riesgos de algún tipo.	No se ha encontrado información de riesgos de algún tipo.	<ul style="list-style-type: none"> La filtración de electrolito de vanadio se liga rápidamente al suelo formando un complejo poco soluble en agua²⁰.
	Plan de Contingencia				Tener personal capacitado para el manejo de residuos y enviar las baterías a centros de reciclaje certificados

Tabla 49: Impactos ambientales y riesgos ocasionados por las baterías de flujo de Vanadio a la flora y fauna.

		Mat. Primas	Implementación	Operación	Fin de vida útil
FLORA Y FAUNA	Impactos	<ul style="list-style-type: none"> Óxido de vanadio es peligroso para los seres vivos²⁰. 	No se ha encontrado información de impactos de algún tipo.	No se ha encontrado información de impactos de algún tipo.	No se ha encontrado información de impactos de algún tipo.
	Valor impactos	-6/+3	0/0	0/0	0/0
	Riesgos	No se ha encontrado información de riesgos de algún tipo.	No se ha encontrado información de riesgos de algún tipo.	No se ha encontrado información de riesgos de algún tipo.	No se ha encontrado información de riesgos de algún tipo.
	Plan de Contingencia				

Tabla 50: Impactos ambientales y riesgos ocasionados por las baterías de flujo de Vanadio a las personas.

		Mat. Primas	Implementación	Operación	Fin de vida útil
PERSONAS	Impactos	<ul style="list-style-type: none"> Oxido de vanadio es tóxico, peligroso para la salud y posible mutágeno²⁰. 	No se ha encontrado información de impactos de algún tipo.	No se ha encontrado información de impactos de algún tipo.	No se ha encontrado información de impactos de algún tipo.
	Valor impactos	-6/+3	0/0	0/0	0/0
	Riesgos	No se ha encontrado información de riesgos de algún tipo.	No se ha encontrado información de riesgos de algún tipo.	No se ha encontrado información de riesgos de algún tipo.	No se ha encontrado información de riesgos de algún tipo.
	Plan de Contingencia				

- **Tecnologías de almacenamiento de energía térmica**
 - Materiales de cambio de fase (PCM).

Tabla 51: Impactos ambientales y riesgos ocasionados por el almacenamiento con materiales de cambio de fase (PCM) al aire.

		Mat. Primas	Implementación	Operación	Fin de vida útil
AIRE	Impactos	No se ha encontrado información de impactos de algún tipo.	Comentarios: - Emisión de gases invernadero	No se ha encontrado información de impactos de algún tipo.	No se ha encontrado información de impactos de algún tipo.
	Valor impactos	0/0	-3/+6	0/0	0/0
	Riesgos	No se ha encontrado información de riesgos de algún tipo.	No se ha encontrado información de riesgos de algún tipo.	No se ha encontrado información de riesgos de algún tipo.	No se ha encontrado información de riesgos de algún tipo.
	Plan de Contingencia				

Tabla 52: Impactos ambientales y riesgos ocasionados por el almacenamiento con materiales de cambio de fase (PCM) al agua.

		Mat. Primas	Implementación	Operación	Fin de vida útil
AGUA	Impactos	No se ha encontrado información de impactos de algún tipo.	No se ha encontrado información de impactos de algún tipo.	No se ha encontrado información de impactos de algún tipo.	No se ha encontrado información de impactos de algún tipo.
	Valor impactos	0/0	0/0	0/0	0/0
	Riesgos	No se ha encontrado información de riesgos de algún tipo.	No se ha encontrado información de riesgos de algún tipo.	No se ha encontrado información de riesgos de algún tipo.	No se ha encontrado información de riesgos de algún tipo.
	Plan de Contingencia				

Tabla 53: Impactos ambientales y riesgos ocasionados por el almacenamiento con materiales de cambio de fase (PCM) al suelo.

		Mat. Primas	Implementación	Operación	Fin de vida útil
SUELO	Impactos	No se ha encontrado información de impactos de algún tipo.	No se ha encontrado información de impactos de algún tipo.	No se ha encontrado información de impactos de algún tipo.	No se ha encontrado información de impactos de algún tipo.
	Valor impactos	0/0	0/0	0/0	0/0
	Riesgos	No se ha encontrado información de riesgos de algún tipo.	No se ha encontrado información de riesgos de algún tipo.	No se ha encontrado información de riesgos de algún tipo.	No se ha encontrado información de riesgos de algún tipo.
	Plan de Contingencia				

Tabla 54: Impactos ambientales y riesgos ocasionados por el almacenamiento con materiales de cambio de fase (PCM) a la flora y fauna.

		Mat. Primas	Implementación	Operación	Fin de vida útil
FLORA Y FAUNA	Impactos	Comentarios: - PCM de parafinas son inflamables. - PCM orgánicos no parafinas, son en su mayoría tóxicos, venenosos e inestables a altas temperaturas. - PCM inorgánicos, algunos son corrosivos a ciertos metales.	No se ha encontrado información de impactos de algún tipo.	No se ha encontrado información de impactos de algún tipo.	No se ha encontrado información de impactos de algún tipo.
	Valor impactos	-6/+3	0/0	0/0	0/0
	Riesgos	No se ha encontrado información de riesgos de algún tipo.	No se ha encontrado información de riesgos de algún tipo.	No se ha encontrado información de riesgos de algún tipo.	No se ha encontrado información de riesgos de algún tipo.
	Plan de Contingencia				

Tabla 55: Impactos ambientales y riesgos ocasionados por el almacenamiento con materiales de cambio de fase (PCM) al aire.

		Mat. Primas	Implementación	Operación	Fin de vida útil
PERSONAS	Impactos	No se ha encontrado información de impactos de algún tipo.	Comentarios: - Aumento en los niveles de ruido.	No se ha encontrado información de impactos de algún tipo.	No se ha encontrado información de impactos de algún tipo.
	Valor impactos	0/0	-3/+1	0/0	0/0
	Riesgos	No se ha encontrado información de riesgos de algún tipo.	No se ha encontrado información de riesgos de algún tipo.	No se ha encontrado información de riesgos de algún tipo.	No se ha encontrado información de riesgos de algún tipo.
	Plan de Contingencia				

3.4. C. Análisis de resultados y discusiones

Con las tablas de cuantificación de impactos ambientales de cada sistema de almacenamiento de energía se realizaron los siguientes gráficos, teniendo en consideración distintas categorías. Para realizar una comparación más significativa se tomaron en consideración sólo los sistemas que poseían más del 50% de los recuadros con información, estos fueron el Sistema de almacenamiento energético de bombeo hídrico (PHS), el Sistema de almacenamiento energético por aire comprimido (CAES) y las Baterías de Plomo/Ácido.

3.4.1. Figuras por etapa del ciclo de vida.

Las figuras de la 13 a la 16, muestran los valores de impactos obtenidos de manera gráfica agrupados por etapa del ciclo de vida en que ocurren para cada sistema de almacenamiento.

La figura 13 muestra los impactos ocasionados en la etapa de recolección de las materias primas de los diversos sistemas de almacenamiento.

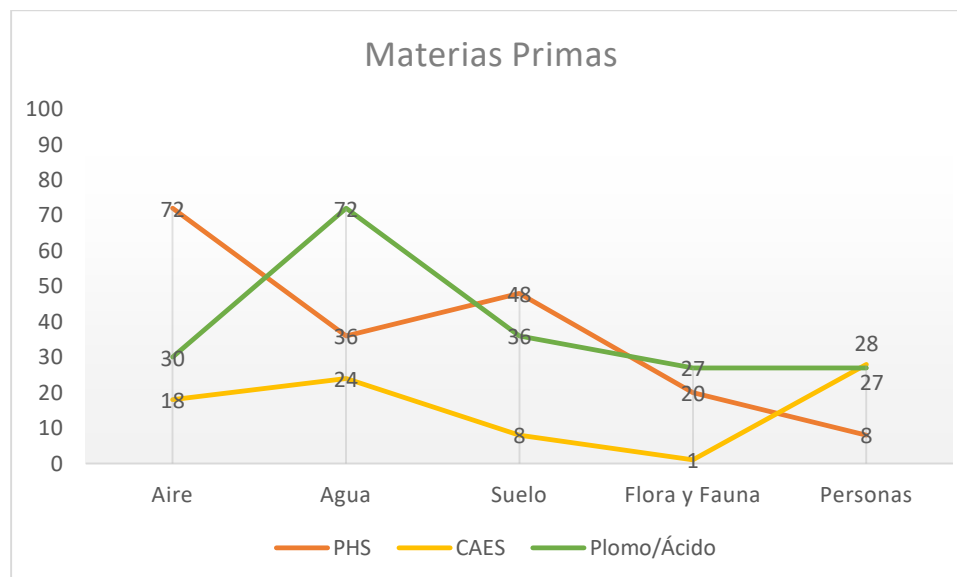


Figura 13: Impactos negativos realizados por los sistemas de almacenamiento durante su etapa de materias primas.

Para la primera figura comparativa de las materias primas de los sistemas de almacenamiento se aprecian impactos mayores en el aire y agua. La que más impacto produce es la planta de bombeo hídrico (PHS), aunque hay que tener en cuenta que ésta es la de mayor tamaño en relación con las otras. También podemos notar que las baterías de plomo/ácido generan un impacto mayor en el agua, debido a que posee componentes líquidos corrosivos. El impacto a la flora y fauna, y a las personas tiende a ser más bajo debido a que en esta etapa se encuentran lejos del producto final.

La Figura 14 muestra los impactos ocasionados por los sistemas de almacenamiento en su etapa de implementación.

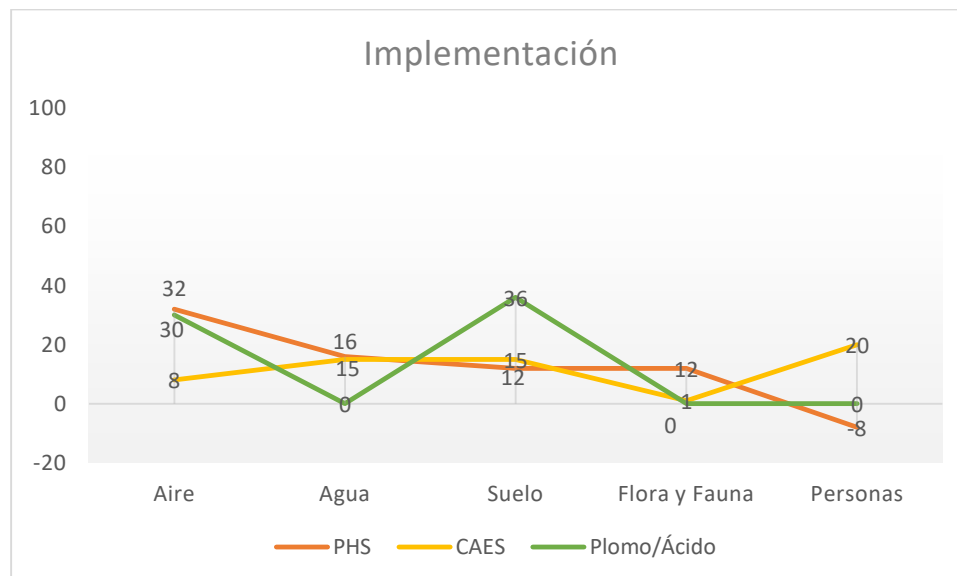


Figura 14: Impactos negativos realizados por los sistemas de almacenamiento durante su etapa de implementación

En esta figura por etapa del ciclo de vida se puede ver que predominan los impactos encontrados en el suelo por las baterías de plomo/ácido, esto es debido a que requieren de la utilización de combustibles fósiles para el procesamiento del plomo. El sistema de bombeo hídrico (PHS) y las baterías de plomo/ácido causan un nivel de impacto similar en el aire. También podemos apreciar que solo las unidades de bombeo hídrico (PHS) pueden causar una reducción de los impactos negativos en las personas debido a la empleabilidad que generan.

La Figura 15 muestra los impactos ocasionados cuando el sistema de almacenamiento se encuentra en operación.

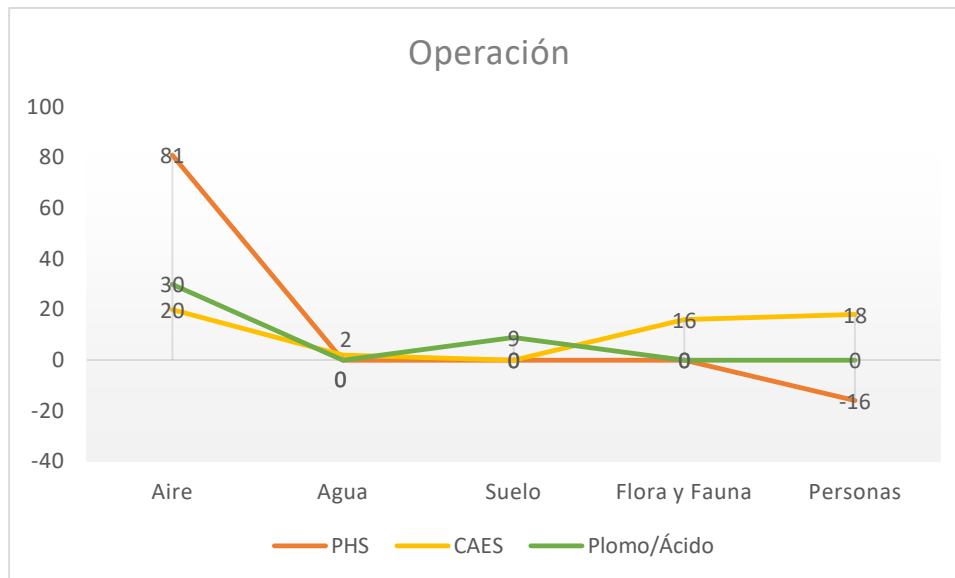


Figura 15: Impactos negativos realizados por los sistemas de almacenamiento durante su etapa de operación.

Durante la operación la mayoría de las tecnologías tiene un bajo impacto ambiental en lo que respecta al agua y al suelo, lo cual en gran parte tiene que ver con que se trata de ciclos cerrados, por lo que no existe un mayor intercambio con este núcleo ambiental, pero sí podrían existir impactos importantes en el aire. El bombeo hídrico podría causar impactos importantes en el aire debido a la emanación de gases de efecto invernadero durante la operación producidos al llenar el reservorio inundando zonas con materia vegetal.

La Figura 16 nos indica los impactos ocasionados por los sistemas de almacenamiento al fin de su vida útil.

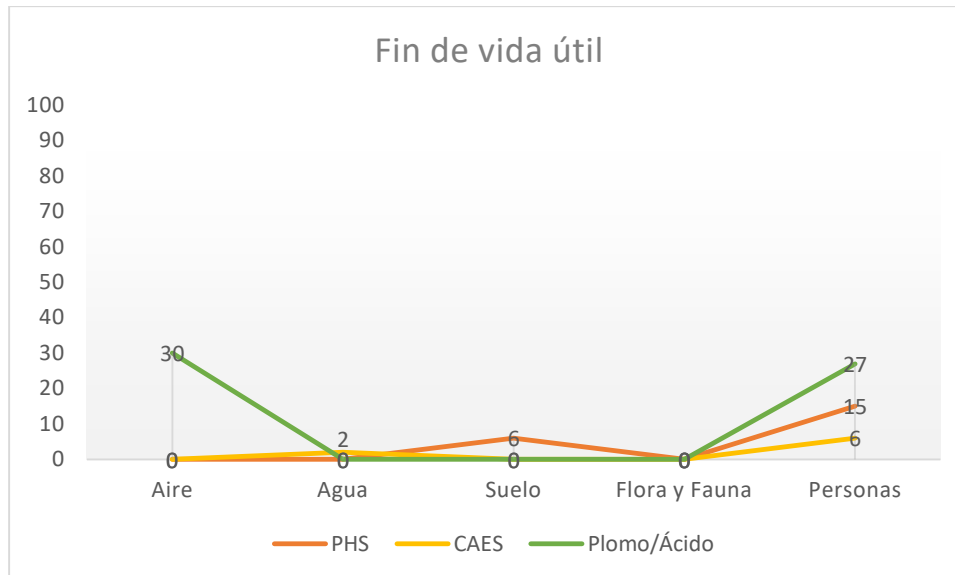


Figura 16: Impactos negativos realizados por los sistemas de almacenamiento durante su etapa de fin de vida útil.

Para esta última etapa del ciclo de vida de las tecnologías de almacenamiento podemos apreciar que los mayores problemas los tendrían las baterías, esto debido a la dificultad que existe para reciclar todos sus componentes. Las baterías de plomo/ácido poseen componentes corrosivos, por lo que necesitan de un manejo cuidadoso al momento de reciclar, en Chile sólo una empresa se encarga del reciclaje del 70% de las baterías de Plomo/Ácido que son desechadas anualmente (Hidronor.cl, 2016).

3.4.2. Figuras por Núcleo Ambiental

Como una manera de visualizar los impactos de cada una de las actividades del proyecto se presentan las siguientes figuras de la 17 a la 21, que van a indicar de manera gráfica cual es el mayor impacto que tienen los diferentes métodos de almacenamiento en los diferentes componentes del medio ambiente.

La figura 17 muestra los impactos ocasionados al aire.

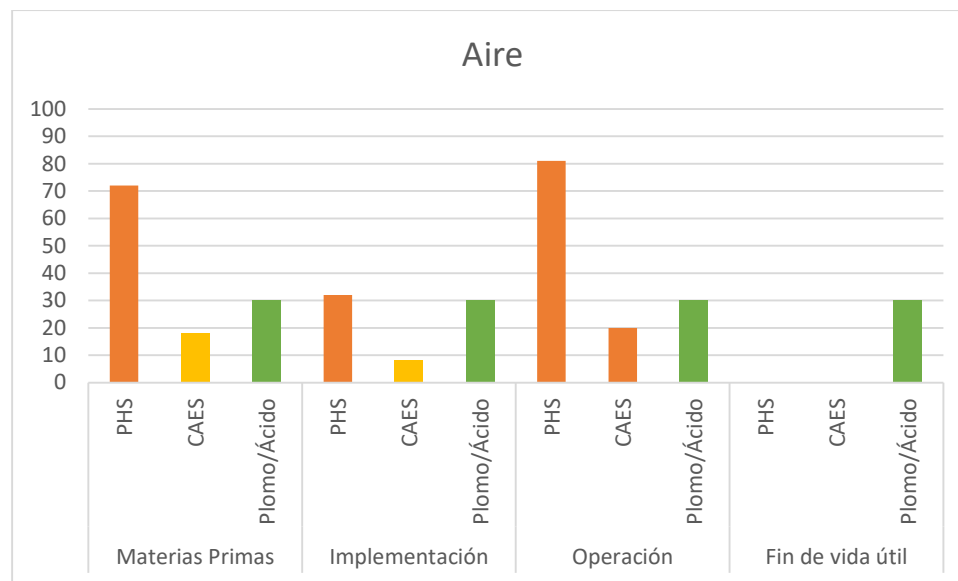


Figura 17: Impactos negativos realizados por los sistemas de almacenamiento en el núcleo ambiental aire.

En esta primera figura comparativa por núcleo ambiental, se puede apreciar que los impactos más relevantes son por parte del almacenamiento por bombeo hídrico (PHS), pero al fin de su vida útil no causan más daño o no hay información al respecto. En la etapa final del ciclo de vida se ve que son sólo se encontraron impactos negativos de las baterías de Plomo/Ácido, esto puede deberse a que la mayoría cuando dejan de ser útiles simplemente no tienen más emisiones de gases y existe poca información al respecto del manejo de estas tecnologías cuando termina su vida útil.

La figura 18 muestra los impactos ocasionados al agua.

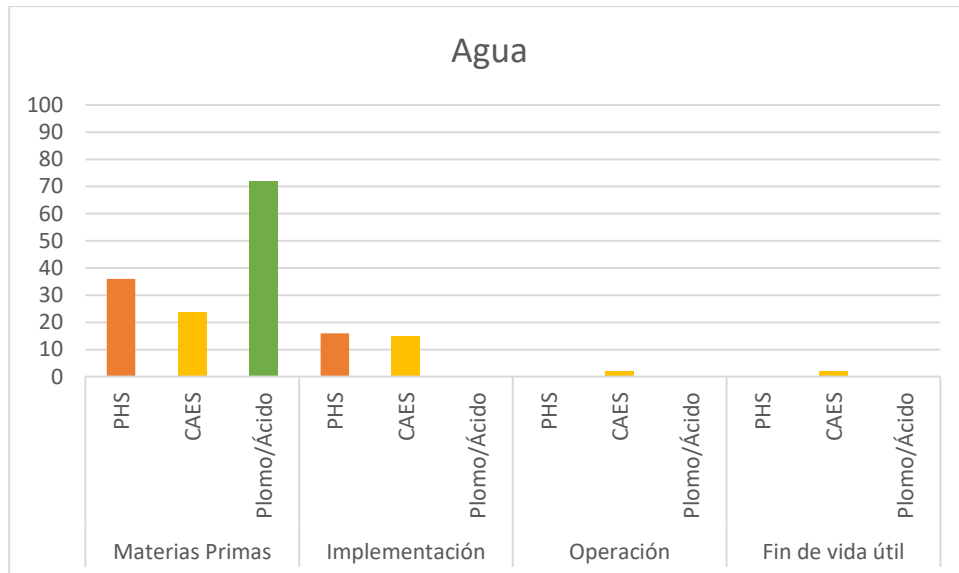


Figura 18: Impactos negativos realizados por los sistemas de almacenamiento en el núcleo ambiental agua.

Para el núcleo agua, los impactos predominantes son los realizados por las baterías de plomo/ácido. Son pocas las tecnologías que causan un daño relevante en este ámbito, lo cual puede deberse a lo mencionado en la categoría anterior, la mayoría de estos sistemas son cerrados, por lo que existe poca interacción entre ellos.

La Figura 19 muestra los impactos ocasionados al núcleo suelo.

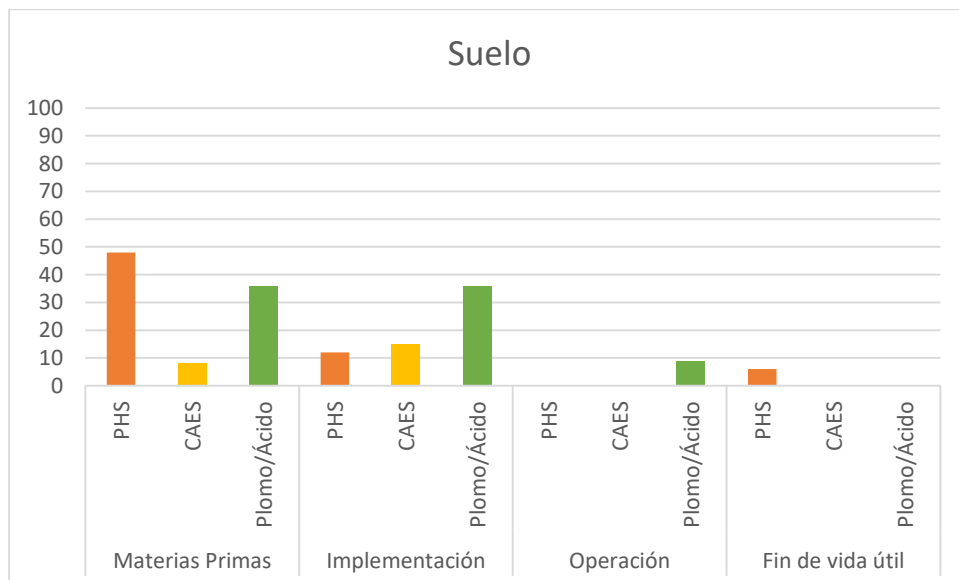


Figura 19: Impactos negativos realizados por los sistemas de almacenamiento en el núcleo ambiental suelo.

Para el suelo los impactos son de menor magnitud. Se puede apreciar que en la etapa de materias primas es donde existen la mayor cantidad de impactos, esto puede deberse al hecho de que en la recolección de los componentes de los sistemas de almacenamiento es donde existe una mayor interacción con este medio. Las tecnologías que causan un mayor impacto en el suelo son las baterías de plomo/ácido de manera general y el bombeo hídrico (PHS) durante su etapa de materias primas.

La figura 20 muestra los impactos ocasionados al núcleo flora y fauna.

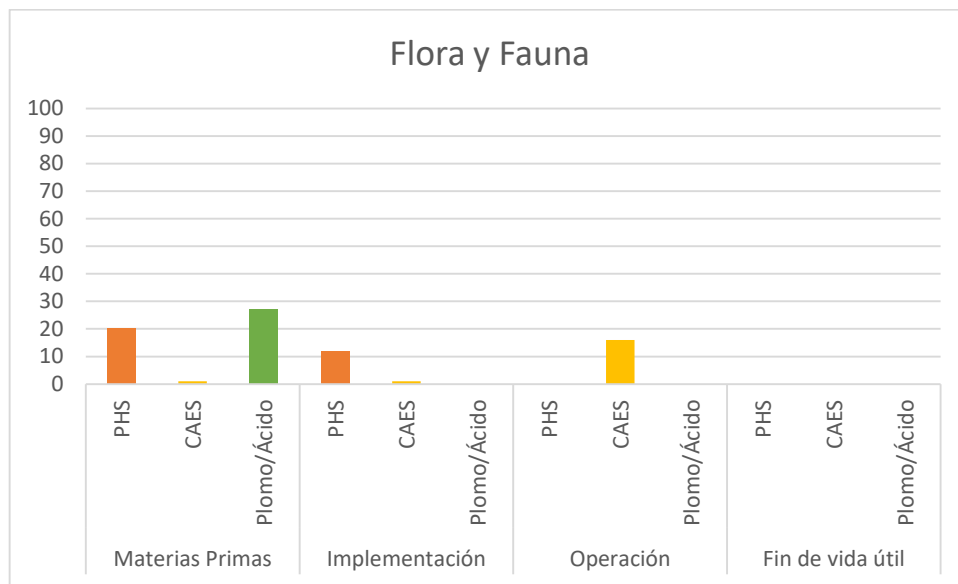


Figura 20: Impactos negativos realizados por los sistemas de almacenamiento en el núcleo ambiental flora y fauna.

Para la flora y fauna se puede apreciar que la escala de los impactos que la afectan es significativamente menor que las anteriores. Los impactos realizados por las baterías de plomo/ácido siguen siendo las predominantes, aunque durante la operación de estas no existen daños a la flora y fauna registrados. La mayoría de los impactos encontrados ocurren durante la etapa de materias primas.

La Figura 21 muestra los impactos ocasionados al núcleo personas.

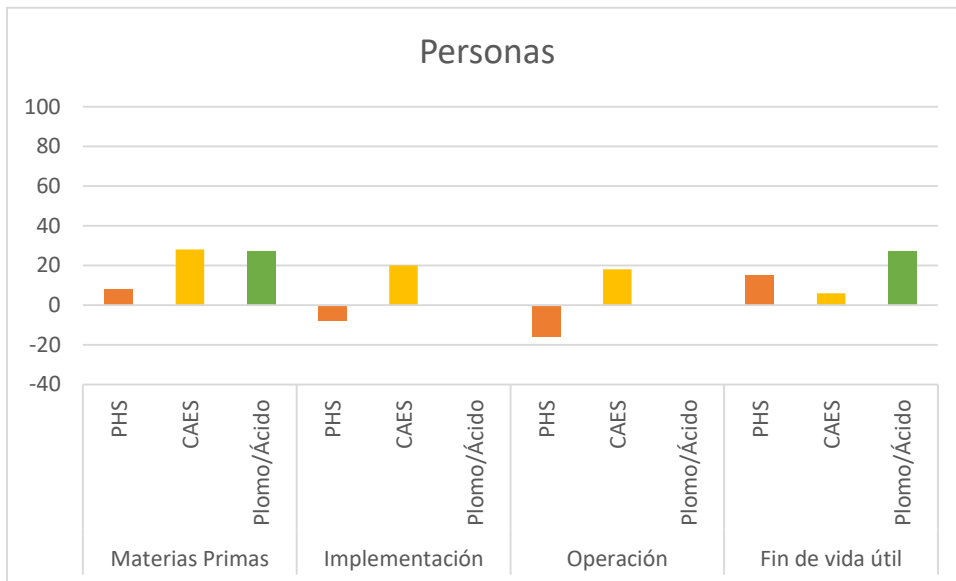


Figura 21: Impactos negativos realizados por los sistemas de almacenamiento en el núcleo ambiental personas.

Al igual que en el caso anterior, la magnitud de estos impactos también es baja. Acá se puede apreciar una mayor distribución de los impactos en las distintas tecnologías de almacenamiento. Predominan los impactos encontrados para el almacenamiento de aire comprimido durante todas sus etapas del ciclo de vida. También podemos notar que la etapa de materias primas es la que tiene una mayor cantidad de impactos a las personas.

3.4.3. Figuras por Tecnología

Las siguientes figuras muestran los impactos ocasionados por cada uno de los sistemas de almacenamiento estudiados en este trabajo, han sido agrupados según sus semejanzas.

La figura 22 representa los impactos ambientales producidos por el almacenamiento de energía por bombeo hídrico y el almacenamiento de energía por aire comprimido, ambas tecnologías de almacenamiento mecánico.

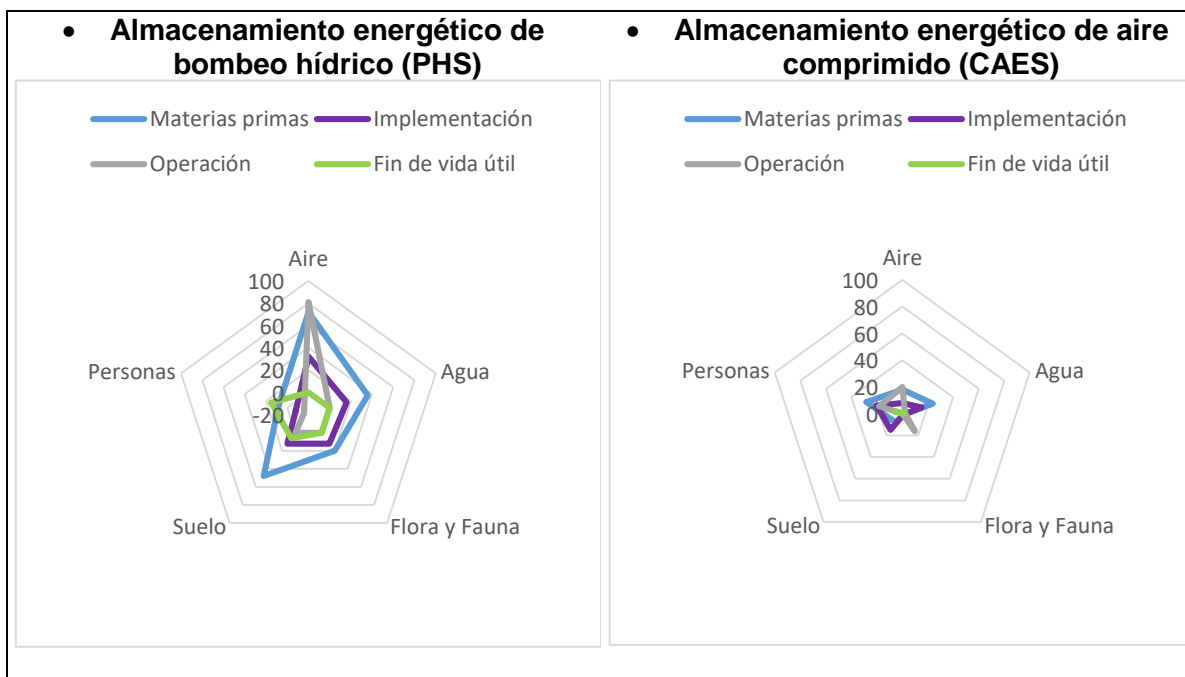


Figura 22: Impactos ambientales negativos ocasionados por el almacenamiento por bombeo hídrico y por aire comprimido.

En esta figura se puede apreciar a simple vista que el almacenamiento de energía por bombeo hídrico causa un mayor impacto ambiental que el almacenamiento por aire comprimido en todos los ámbitos. El primer sistema posee impactos de mayor magnitud en el aire, siendo los más significativos realizados durante la etapa de materias primas y operación. También podemos ver que este sistema tiene un impacto positivo para las personas durante su implementación y operación debido a los puestos de trabajo que se generan.

Para el almacenamiento de aire comprimido la magnitud de los impactos es menor. Estos se encuentran dispersos entre las etapas del ciclo de vida, durante las materias primas los impactos se concentran en las personas y el agua, cuando se pasa a la etapa de implementación estos ocurren predominando en las personas, luego durante la operación lo más dañado resulta ser el aire.

Ambos sistemas realizan muy pocos impactos dañinos al fin de su vida útil.

La figura 23 muestra los impactos ambientales generados por los discos de inercia un tipo de almacenamiento de energía cinésico.

- **Tecnologías de almacenamiento kinésico de energía (Discos de Inercia)**

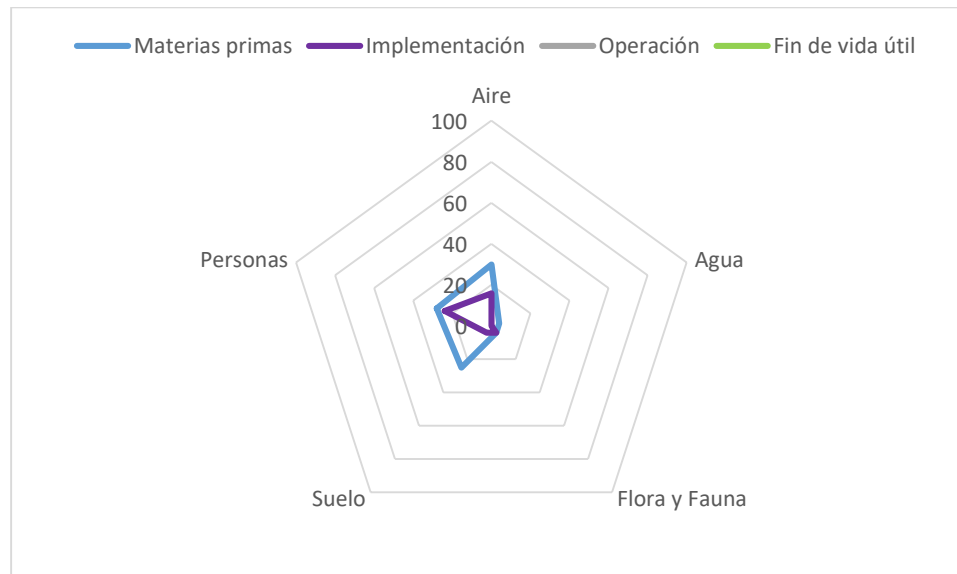


Figura 23: Impactos ambientales negativos ocasionados por los discos de inercia.

Los impactos de esta tecnología también son de bajas magnitudes. Los más significativos ocurren durante su etapa de materias primas y afectan al aire, suelo y personas. También podemos apreciar que durante la implementación se ven afectadas las personas en mayor cantidad que en los otros núcleos ambientales. Para las demás etapas del ciclo de vida los impactos son menores.

La figura 24 muestra los impactos ocasionados por los sistemas de almacenamiento de energía en Celdas de combustible de hidrógeno, Power-to-gas y Combustible solar las cuales son de energía química.

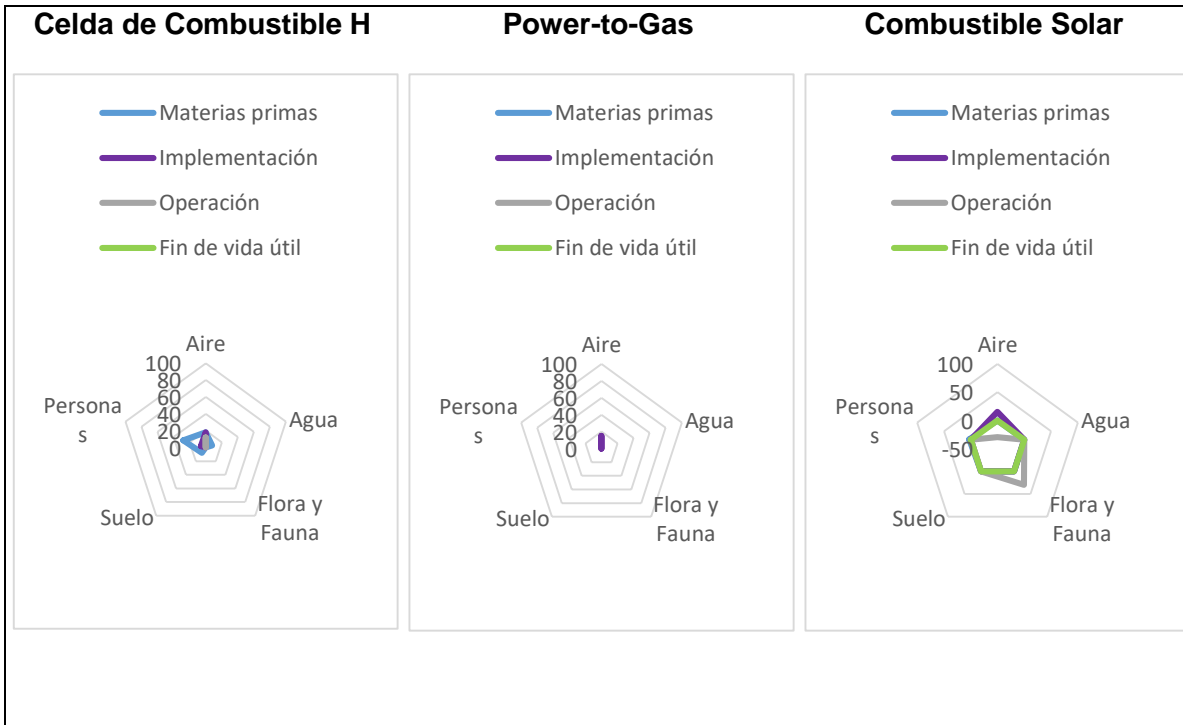


Figura 24: Impactos ambientales negativos ocasionados por las celdas de combustible de hidrógeno, power-to-gas y el almacenamiento de combustible solar.

Como se puede apreciar en la figura los impactos generados por estas tecnologías son una escala menor en comparación a los de la figura 22. En lo que respecta a la Celda de combustible se ve que los impactos realizados por las materias primas afectan mayoritariamente a las personas. Durante la implementación podemos notar impactos de baja magnitud para el aire y las personas. También podemos ver que los impactos causados durante la operación solo afectan al aire.

En el caso de Power-to-gas fue poca la información encontrada. Los impactos que aquí se representan muestran que durante la operación esta tecnología genera una mayor cantidad de impactos para el agua.

El Combustible Solar presenta un beneficio para el medio ambiente, específicamente en el aire. Los únicos impactos negativos encontrados fueron durante la implementación para el núcleo aire, pero a pesar de esto los beneficios son de mayor magnitud.

En ninguna de estas tecnologías se encontraron impactos al fin de su vida útil.

La figura 25 nos muestra una comparación de los impactos generados por distintos tipos de baterías.

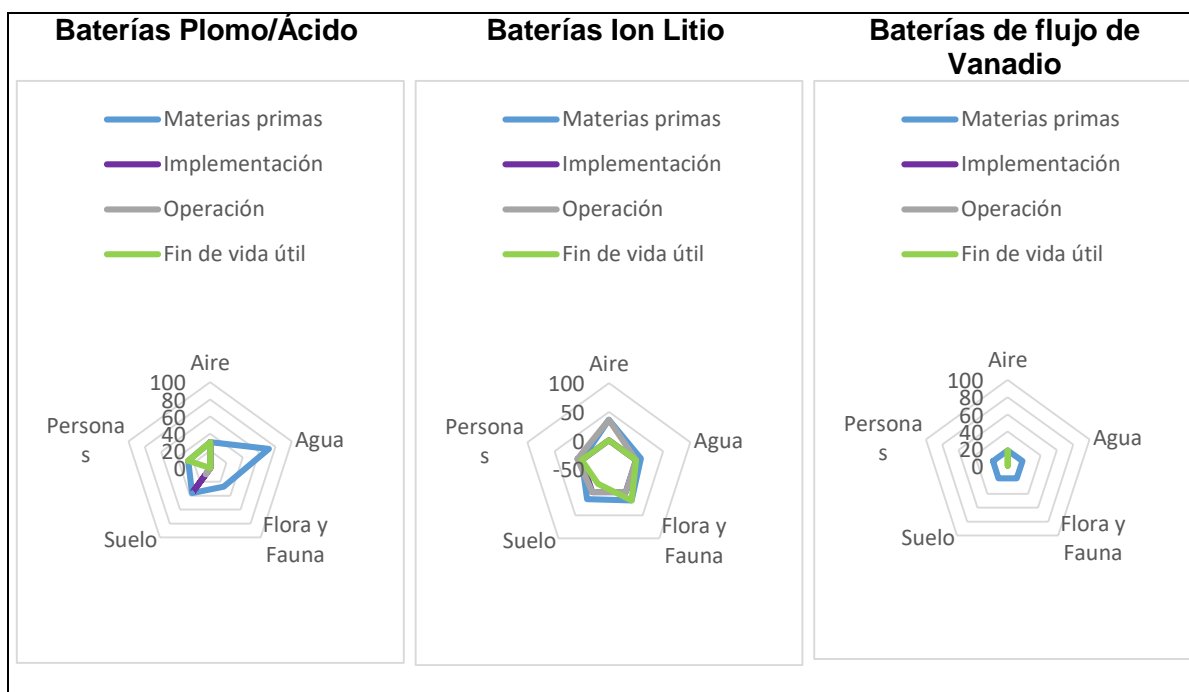


Figura 25: Impactos ambientales negativos ocasionados por las Baterías de Plomo/Ácido, Baterías Ion Litio y Baterías de flujo de Vanadio.

Por la figura 25 podemos apreciar, a simple vista, que los impactos de mayor magnitud son los generados por las baterías de plomo/ácido, en esta tecnología de almacenamiento los impactos más significativos se centran en el núcleo agua. Existen impactos considerables al aire y el suelo, pero son de menor magnitud que los que afectan al agua. De esta figura también se puede apreciar que los impactos causados por el sistema dañan en menor cantidad a las personas y a la flora y fauna.

Esta figura nos muestra que, para las baterías de Litio durante las materias primas, los impactos de mayor magnitud afectan al aire. Se aprecia que durante la operación los

impactos ocurren en el aire y en las personas. Los impactos de mayor importancia ocurren al fin de la vida útil en la flora y fauna, pero también existen impactos positivos en esta etapa que benefician al suelo.

En el caso de las baterías de flujo de Vanadio los impactos poseen una baja magnitud. En las materias primas se encuentran repartidos equitativamente en los 5 núcleos ambientales. Sólo se encontraron impactos negativos al fin de su vida útil para el aire. Para las etapas de implementación y operación no se encontró información de posibles impactos.

La figura 26 nos muestra los impactos generados por las tecnologías de almacenamiento térmico de energía, específicamente por el almacenamiento en materias de cambio de fase.

- **Almacenamiento térmico de energía en materiales de cambio de fase.**

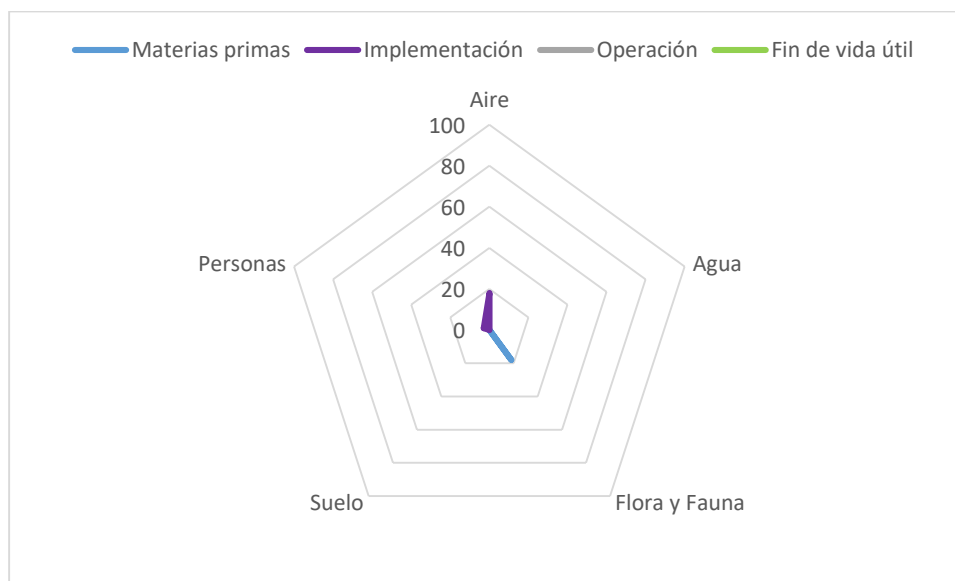


Figura 26: Impactos ambientales negativos ocasionados por el almacenamiento de energía en materiales de cambio de fase.

En esta última figura podemos apreciar que los únicos impactos encontrados para las materias primas afectan exclusivamente a la flora y fauna. Para la implementación los impactos que ocurren en el aire son los únicos encontrados. También se puede notar que no existen impactos al momento de la operación y fin de vida útil, esto es debido a que no se encontró más información al respecto.

Con todas las figuras analizadas podemos notar que existen dos tecnologías cuyos impactos negativos encontrados s predominan, estas son el almacenamiento de bombeo hídrico (PHS) y las baterías de plomo/ácido. El primero puede deberse al tamaño de este sistema en comparación con el resto de las tecnologías estudiadas.

4. CONCLUSIONES Y DISCUSIÓN

A partir de los objetivos planteados, se realizó una revisión de la literatura medioambiental y la literatura de los sistemas de almacenamiento de energía, los materiales requeridos para su elaboración, sus procesos, componentes y aspectos operacionales, logrando realizar una clasificación y caracterización de las distintas tecnologías considerando el tipo de almacenamiento que utilizan.

En los siguientes puntos se resumen las principales conclusiones específicas de este trabajo:

Al analizar las distintas tecnologías desde el punto de vista de sus etapas del ciclo de vida podemos apreciar que en la obtención de materias primas las que poseen un mayor nivel de impactos son el almacenamiento de bombeo hídrico y las baterías de Plomo/Ácido. Para el momento de la implementación los sistemas predominantes con más impactos siguen siendo las baterías de Plomo/Ácido.

Luego durante su operación, el almacenamiento energético por bombeo hídrico tiene mayores impactos. Y al fin de su vida útil las baterías de Plomo/Ácido siguen siendo las que poseen un mayor nivel de daño.

Al observar los distintos sistemas de almacenamiento de energía evaluándolos según el núcleo ambiental en que se realizan los impactos se puede ver que en el aire el responsable de la mayor cantidad de impactos negativos es el almacenamiento por bombeo hídrico debido a que son construcciones de gran tamaño lo que implican impactos de mayor magnitud, mayores cantidades de emisiones de gases de efecto invernadero y mayor cantidad de material particulado liberado a la atmósfera. En el aire, el único sistema que se encontró bibliografía de un impacto positivo fue el sistema de combustible solar, indicando que su utilización disminuye el consumo de combustibles fósiles. Otro sistema que posee un bajo nivel de impactos en el aire es el almacenamiento de energía por aire comprimido,

debido a que su construcción es de menor tamaño y utilizan cavernas subterráneas ya existentes.

Cuando se analiza el agua se aprecia que las baterías de Plomo/Ácido son las que ocasionan un mayor nivel de daños al sistema debido a la toxicidad de sus componentes y lo peligroso que sería la liberación de sus componentes activos a cualquier cuerpo de agua, y el sistema que genera una menor cantidad de impactos en este aspecto ambiental es el combustible solar, pero esto sólo debido a que no se encontraron impactos de ningún tipo en bibliografía, otro sistema con pocos impactos fueron las celdas de combustible hidrógeno, esto es porque este tipo de almacenamiento no interactúa con cuerpos de agua durante su ciclo de vida, los impactos de que posee son sólo en la elaboración de sus materias primas.

El núcleo suelo se ve afectado en mayor parte por las baterías de Plomo/Ácido y el almacenamiento por bombeo hídrico, ya que la primera causa agotamiento de recursos minerales en la extracción de plomo y los impactos de la segunda son debido al tamaño de la construcción y la erosión que esto provoca. Del sistema power-to-gas y combustible solar no se encontró bibliografía respecto a impactos que ocasionen al suelo.

Para la flora y fauna los sistemas que poseen un mayor nivel de impacto, al igual que en el párrafo anterior, son las baterías de Plomo/Ácido y el almacenamiento por bombeo hídrico, la primera debido a la toxicidad de sus componentes activos y la segunda debido a las pérdidas de vegetación que se producen al momento de construir un sistema de tal tamaño. La tecnología de almacenamiento energético de aire comprimido tiene un impacto mayor en este ámbito durante su operación en comparación a las otras tecnologías. En este aspecto ambiental los sistemas que producen la menor cantidad de impactos son las celdas de combustible hidrógeno, el sistema power-to-gas y el combustible solar, pero esto es porque no se encontró información bibliográfica respecto a impactos ambientales ocasionados en este núcleo.

Por último, las personas se ven afectadas predominantemente por el almacenamiento de aire comprimido, pero esto es debido al ruido que genera en distintas etapas de su ciclo de vida. El sistema que menos impactos genera en las personas es el almacenamiento Power-to-gas, debido a que no se encontraron impactos ambientales de ningún tipo que pudieran afectar a las personas.

De manera global, desde un punto de vista ambiental los tres sistemas de almacenamiento de energía estudiados que tiene un menor nivel de impacto ambiental son el Combustible Solar, Power-to-gas y las celdas de combustible hidrógeno. Por el contrario, los sistemas con mayores grados de impactos ambientales negativos fueron las baterías de Plomo/Ácido y el almacenamiento por bombeo hídrico.

El método de evaluación ambiental diseñado demostró ser eficiente y fácil de usar, lo que podría ser de gran ayuda para las personas que deseen realizar un proyecto energético o cualquier otra índole, ya que por su forma de identificar los impactos y riesgos puede ser aplicado para cualquier tipo de rubro.

Como trabajo a futuro se plantea incluir más tecnologías en el análisis, profundizar en el conocimiento de las tecnologías de materiales de cambio de fase y power-to-gas, y avanzar en un mayor detalle de la evaluación y descripción de cada tecnología de almacenamiento. También se propone definir cuáles son los ámbitos más importantes para tener en consideración al momento de realizar un modelo de integración de sistemas de almacenamiento energético en la red eléctrica.

5. REFERENCIAS

- Aguirre S. y Lolos G., “Potencialidad de un sistema BESS para regular la variabilidad de centrales ERNC” Universidad Católica de Chile (2015). Retrieved from: <http://hrudnick.sitios.ing.uc.cl/alumno15/bess/bessvariabilidad.html>
- Akorede M. F., “Distributed energy resources and benefits to the environment”, Renewable and Sustainable Energy Reviews 14 (2010), 724-734.
- Ampofo-Anti N., “Green Building Handbook for South Africa”, Chapter: The environmental impacts of construction materials use: a life cycle perspective (2009).
- Blog.360gradosenconcreto.com, “Caracterización de impactos ambientales de la industria de la construcción” (2013). Retrieved from: <http://blog.360gradosenconcreto.com/caracterizacion-de-impactos-ambientales-en-la-industria-de-la-construccion/>
- Bolund B., “Flywheel energy and power storage systems”, Renewable and Sustainable Energy Reviews 11 (2007), 235-258.
- Bouman E. A., “Environmental Impacts of balancing offshore wind power with compressed air energy storage (CAES)”, Energy 95 (2016), 95.
- Chen H., “Progress in electrical energy storage system. A critical review”, Progress in Natural Science 19 (2009), 291.
- Comisión Nacional de Energía, “Anuario Estadístico de Energía 2016”, Ministerio de Energía del Gobierno de Chile, 2016.
- Deane J. P., “Techno-economic review of existing and new pumped hydro energy storage plant”, Renewable and Sustainable Energy Reviews 14 (2010), 1293–1302.
- Denholm P., “Grid flexibility and storage required to archive very high penetration of variable renewable electricity”, Energy Policy 39 (2011), 1817-1830.
- Denholm P., “Life cycle energy requirements and greenhouse gas emissions from large scale energy storage systems”, Energy Conversion and Management 45 (2004), 2153-2172.
- Energía 2050, “Política energética de Chile, Ministerio de Energía del Gobierno de Chile”, 2016.
- Energy4me, “Environmental impact by source” (2015). Retrieved from: <http://energy4me.org/all-about-energy/sustainability/environmental-impact-by-source/>
- Fundación Gas Natural Fenosa, “El almacenamiento de electricidad”, 2013.
- Gaines L., “Lithium-ion Batteries: Advances and applications” (2014), 483-508.
- Granovsky M., “Economic and Environmental comparison of conventional, hybrid, electric and hydrogen fuel cell vehicles”, Journal of Power Sources 159 (2006), 1188.
- Greenspec.co.uk, “The environmental impact of concrete” (2018). Retrieved from: <http://www.greenspec.co.uk/building-design/environmental-impacts-of-concrete/>
- Gutierrez S., “Impacto ambiental del acero y el aluminio” (2013). Retrieved from: <https://prezi.com/nzuuh0pec1wf/impacto-ambiental-del-acero-y-aluminio/>
- Hall P., “Energy-storage technologies and electricity generation”, Energy Policy 36 (2008), 4352-4355.
- Hammarstrom L., “Artificial photosynthesis and Solar fuels”, Accounts of chemical research 42 (2009), 1859-1860.
- Hidronor.cl, “Reciclaje de baterías en Chile” (2016). Retrieved from: <http://www.hidronor.cl/reciclaje-de-baterias-en-chile/>
- Ingenieroambiental.com, “Estructura general de un estudio de impacto ambiental” (2005). Retrieved from: <http://www.ingenieroambiental.com/newinformes/EIA.htm>

- International Renewable Energy Agency (IRENA) and Energy Technology System Analysis Programme (ETSAP), “Thermal Energy Storage Technology Brief”, 2013
- Letcher T. M., “Storing Energy: with Special Reference to Renewable Energy Sources” (2016).
- McKenna E., “Economic and environmental impact of lead-acid batteries in grid-connected domestic PV systems”, Applied Energy 104 (2013), 247.
- Ministerio Secretaria General de la Presidencia, “Ley de Bases Generales del Medio Ambiente (19.300/94)”.
- Ministerio Secretaria General de la Presidencia, D.S. No. 95 de 2001, “Reglamento del Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental”.
- Motorpasion.com, “El reciclado de las baterías de litio: Un negocio rentable en el que se desecha el litio” (2012). Retrieved from: <https://www.motorpasion.com/coches-hibridos-alternativos/el-reciclado-de-las-baterias-de-litio-un-negocio-rentable-en-el-que-se-desecha-el-litio>
- Norgate T. E., “Assessing the environmental impact of metal production processes”, Journal of Cleaner Production 15 (2007), 838-848.
- Nuñez I., “Generación eólica y solar fotovoltaica: ¿Qué tan variables son?, Breves de energía 3 (2015).
- Oberschmidt J., “Electricity, Transmission, Distribution and Storage Systems” (2013), 281-308.
- Physicsworld.com, “Fuel Cells: environmental friend or foe?” (2003). Retrieved from: <https://physicsworld.com/a/fuel-cells-environmental-friend-or-foe/>
- Ponce V. M., “La matriz de Leopold para la Evaluación del Impacto Ambiental”, Universidad Estatal de San Diego (2008). Retrieved from: http://ponce.sdsu.edu/la_matriz_de_leopold.html
- Ribeiro P. F., “Energy Storage Systems for Advanced Power Applications”, Proceedings of the IEEE 98 (2001), 1744-1756.
- Schaber K., “Parametric study of variable renewable energy integration in Europe: Advantages and costs of transmission grid extensions”, Energy Policy 42 (2012), 498-508.
- Serrano R., “Curso Evaluación de Impacto Ambiental”, Universidad de Chile.
- Sharma A., “Review on Thermal energy storage with phase change materials al applications”, Renewable and Sustainable Reviews, 13 (2009), 318-345.
- StoRE project, “Environmental performance of existing energy storage installations”, Febrero 2012.
- TKI Gas – TKI 01015, “Power-to-gas project in Rozenburg, The Netherlands”, Technical Assumptions, technology demonstration and results P2G project, abril 2015.
- U.S Department of Energy, “Final environmental assessment for the Pacific Gas and Electric Company (PG&E) compress air energy storage (CAES) compression testing phase project, San Joaquin County, California”, Mayo 2014.
- U.S Department of Energy, “Grid Energy Storage”, Diciembre 2013.
- U.S Environmental Protection Agency, “Application of life-cycle assessment to nanoscale technology: Lithium-ion batteries for electric vehicles”, Abril 2013.
- Upadhyaya J., “Environmental Impacts of Fuel Cell Technology for Electric Power Generation: An Overview and Case Studies”, AIChE Annual Meeting, Conference Proceedings (2004).
- Whittingham M. S., “History, Evolution, and Future status of Energy Storage”, Proceedings of the IEEE 100 (2012), 1518-1534.

- Zabalza I., "Life cycle assessment of building materials: Comparative analysis of energy and environmental impacts and evaluation of the eco-efficiency improvement potential", *Building and Environment* 46 (2011), 1133-1140.
- Zackrisson M., "Life cycle assessment of lithium-ion batteries for plug-in hybrid electric vehicles – Critical issues", *Journal of cleaner production* 18 (2010), 1519-1529.
- Zhang J., "Study on the environmental risk assessment of lead-acid batteries", *Procedia Environmental Science* 31 (2 016), 873-879.