

Viabilidad de electromovilidad náutica en el distrito de Cartagena-Colombia

Viability of nautical electromobility in the district of Cartagena-Colombia

Irma Isabel Ascencio Medina , Sandra Marcela Católico Castillo 
Jorgelina Cecilia Pasqualino , Claudia Díaz Mendoza 
Fundación Universitaria Tecnológico Comfenalco Cartagena, Colombia

Open Access

Recibido:

18 octubre de 2018

Aceptado:

28 enero de 2019

Publicado:

1 julio de 2019

Correspondencia:

cdiaz@tecnologicocomfenalco.edu.co

jpasqualino@tecnologicocomfenalco.edu.co

irmaascencio2809@gmail.com

DOI:

<https://doi.org/10.17081/invinno.7.2.3125>



© Copyright: Investigación e Innovación en Ingenierías

Resumen

Objetivo: Evaluar la viabilidad de la aplicación de la electromovilidad náutica en diferentes escenarios de la ciudad, determinando cargas ambientales y proponiendo soluciones energéticas. **Metodología:** Se comparó el uso de motores eléctricos de 8 HP con 2 baterías y el motor de gasolina convencional de 2 tiempos y 15 HP, en su uso en transporte de pasajeros entre Cartagena y la isla de Tierra bomba, mediante la metodología de Análisis de Ciclo de Vida, utilizando 10 indicadores ambientales. **Resultados:** Se presentó la comparación en términos carga ambiental por pasajero, por kilómetro y por trayecto para el transporte de personas en la zona de estudio. Además se determinó la viabilidad de la utilización de motores eléctricos en los trayectos estudiados, teniendo en cuenta también la implementación de una estación de carga fotovoltaica y un sistema híbrido para la obtención de energía eléctrica. **Conclusiones:** La carga ambiental se redujo, para la mayoría de los indicadores en más del 50% para el motor eléctrico cargado con energía de la red y hasta en un 75% al utilizar la estación de carga solar, en comparación con el motor de gasolina convencional, a excepción de los indicadores de cambio climático, agotamiento del agua, huella ecológica y toxicidad humana con 42,46%, 14,53%, 24,83% y 21,78% de reducción, respectivamente. De lo anterior se concluye que la implementación de la electromovilidad náutica en Cartagena es viable desde el punto de vista ambiental.

Palabras claves: Electromovilidad; Energía solar; Transporte náutico; Impactos Ambientales; Análisis de Ciclo de Vida.

Abstract

Objective: To evaluate the viability of nautical electromobility application in different city scenarios, determining environmental burdens and proposing energy solutions. **Methodology:** Electric engines 8 HP with 2 batteries and conventional gasoline 2 times engines 15 HP were compared, applied for passenger transport between Cartagena and Tierrabomba island, using Life Cycle Assessment methodology with 10 environmental indicators. **Results:** The comparison was presented in terms of environmental load per passenger, per kilometer and per trip, for the transport of passengers in the study area. In addition, the viability of electric engines implementation was determined for the studied trips, also taking into account the implementation of a photovoltaic charging station and a hybrid system for obtaining electrical energy. **Conclusions:** The environmental load was reduced, for most indicators by more than 50% for the electric engine charged with grid power and up to 75% when using the solar charging station, compared to the conventional gasoline engine, except for the indicators of climate change, water depletion, ecological footprint and human toxicity with 42.46%, 14.53%, 24.83% and 21.78% reduction, respectively. From this it is concluded that nautical electromobility implementation in Cartagena is viable from the environmental point of view.

Keywords: Electromobility; Solar energy; Nautical transport; Environmental impacts; Life Cycle Assessment.

Como citar (IEEE): I. Ascencio Medina, S. Católico Castillo, J. Pasqualino., y C. Díaz Mendoza, "Viabilidad de electromovilidad náutica en el distrito de Cartagena-Colombia", *Investigación e Innovación en Ingenierías*, vol. 7, n°. 2, 2019. DOI: <https://doi.org/10.17081/invinno.7.2.3125>

Introducción

La electromovilidad es un proceso de generación de energías limpias que busca disminuir la dependencia de energías fósiles y, por ende, reducir emisiones de CO₂ y el consumo de energías no renovables. La discusión sobre alternativas de generación de energía es un tema prioritario a nivel global [1]. En este sentido, la búsqueda de energía asequible y no contaminante forma parte de los 17 objetivos de desarrollo sostenible adoptados por las Naciones Unidas en septiembre del 2015 [2].

Debido a lo anterior, está abierta la posibilidad de desacoplar la movilidad de la dependencia del petróleo [3]. El uso de energías más limpias constituye entonces una oportunidad en este cambio de paradigma y posibilita la construcción de una relación estrecha entre la economía, la sociedad y la naturaleza [4]. Así, la movilidad de personas y carga, en términos de volumen y estructura, tiene un peso importante en el contexto del desarrollo sostenible, dados los efectos ambientales, sociales y económicos que implica [5], representando el 19% del consumo mundial de energía final en 2013. El mismo sector representará el 97% del aumento del consumo de petróleo mundial entre 2013 y 2030 [6]. Por ello, en términos de eficiencia, seguridad energética, emisiones de gases de efecto invernadero, y emisiones de impacto local (material particulado, NO_x, SO_x, entre otros), existe una clara necesidad de reducir el consumo de combustibles fósiles.

Y es que cuando la gasolina se quema para cumplir la función de combustible de un medio de transporte, se convierte en un problema de contaminación ambiental y no solo por emitir contaminantes a la atmósfera, sino que cuando grandes cantidades de CO₂ son absorbidas por el agua del mar se forma H₂CO₃ o ácido carbónico, sustancia que altera el ecosistema matando o dañando peces y plantas [7].

Otro factor a tener en cuenta es el uso de aceites y grasas, pues, por ser menos densos que el agua e inmiscibles con ella, se difunden por la superficie, y pueden cubrir grandes superficies. Esto, además de producir un impacto estético negativo, reduce la reoxigenación a través de la interfase aire-agua, disminuyendo el oxígeno disuelto y absorbiendo la radiación solar. Todo esto afecta la actividad fotosintética y, en consecuencia, la producción interna de oxígeno disuelto [8]; lo que además de afectar la calidad del agua y el paisaje, disminuye los ingresos económicos de transportadores que viven del turismo.

La electromovilidad náutica en tramos cortos entre las islas cercanas a Cartagena supone un gran aporte en la solución de estos problemas, teniendo en cuenta la cantidad de trayectos que se realizan por día. En concreto, se dan tres posibles alternativas: 1) Motores cargados a través del

mix eléctrico, 2) Motores cargados en un porcentaje con el mix eléctrico y otro porcentaje con energía solar, y 3) Motores cargados con energía solar.

Ahora bien, entre las aplicaciones de electromovilidad náutica se encuentran distintos enfoques.

Torqueado, por ejemplo, es una empresa pionera en sistemas de propulsión eléctricos para embarcaciones, y ha logrado llevar a cero las emisiones de CO₂ generadas en dichos sistemas [9]. Ciudades como Amsterdam, Estambul y Bangkok, urbes comprometidas con el ambiente ya están integrando este tipo de tecnologías en el transporte fluvial.

Los países latinoamericanos también le han apostado a la reducción de las emisiones de CO₂, encontrándose de esta manera proyectos de aplicación de electromovilidad náutica en zonas como las Islas Galápagos en Ecuador. Se pretende alcanzar así un nuevo concepto cultural y tecnológico en dicha población, y así promover el cambio del pensamiento tradicional respecto a las energías renovables en el transporte marítimo de la zona, con el fin de eliminar la dependencia de combustibles fósiles y mitigar los efectos del cambio climático [10].

En el Río Tapiche (Perú) se busca establecer un sistema de movilidad sostenible para los residentes que se encuentran a lo largo del río, por lo que Photovoltaics Perú busca minimizar mediante un proyecto similar los costos de transporte por el uso de energía renovable mediante motores eléctricos y sistemas solares aislados [11].

Entre las políticas nacionales de Colombia en materia ambiental, destaca el compromiso de reducir hasta en un 20% las emisiones de CO₂ para el año 2030; a partir de esto, se está realizando el proyecto DeveloPPP, el cual busca promover el desarrollo de la electromovilidad como una alternativa de transporte náutico en el país, que ya se encuentra en marcha en el Río Caquetá [12].

Por otra parte, la corporación Solano, así como Smart Hidro Power empezaron a ejecutar proyectos de electromovilidad en Colombia en el año 2015. El municipio de Solano, en el departamento del Caquetá, busca crear con ello un transporte fluvial eléctrico y económico para las comunidades indígenas de la Amazonia. [13, 14,15,16,17,18,19,20].

Metodología

La evaluación de la viabilidad de la aplicación de la electromovilidad náutica en tramos cortos a islas cercanas a la ciudad de Cartagena, objeto de este trabajo, se basó en el análisis de las cargas ambientales producidas por el sistema energético utilizado actualmente y el sistema propuesto. Para esto se tuvieron en cuenta factores como: materia prima para la fabricación, emisiones al agua, emisiones al aire, utilización del suelo, vida útil del

producto, residuos producidos, entre otros. De este modo se elaboró un inventario que permitió comparar ambas alternativas y determinar si el uso de esta nueva alternativa resulta viable [21,22,23,24,25,26,27].

El proyecto se dividió en las siguientes fases:

Fase I. Elaboración de línea base: Se realizaron salidas de campo para la toma de información primaria acerca de los tipos de motores, cantidad de combustible utilizado, trayectos realizados, cantidad de pasajeros, entre otros, que se tabularon en el formato que se observa en la Tabla 1:

Tabla 1. Formato toma de datos generales

Datos generales										
Nombre conductor						Tipo de embarcación				
Fecha						Clima				
Ingreso en el día						Comp. del motor/ Estado				
Gasto del día						Nº de Mantenimiento				
Combustible										
Recarga		Tipo combustible		Volumen (l)		Costo (\$)		Lugar (Agua/Arena)		Observaciones
Trayecto										
#	Hora inicio	Hora final	Origen	Destino	# Pasajeros	Carga extra	Segundos Transcurridos	Distancia (km)	Velocidad (km/h)	

Fase II. Inventario de ciclo de vida: A través de información secundaria se realizó una lista de los elementos que conforman los motores, la lancha, la estación de carga, las baterías, el combustible, la electricidad y los materiales con los que fueron fabricadas las piezas. Posteriormente, se utilizó la base de datos Ecoinvent 3.4., con la que se identificó la carga ambiental por kilogramo de producto relacionada con los diferentes contaminantes del agua, suelo, aire, y el uso de recursos. Esta información se tabuló en un formato visualizado en la Tabla 2:

Tabla 2. Formato de inventario base de datos Ecoinvent 3.4. Fuente: Ecoinvent.org

Indicador	Unidad	Infraestructura	Infraestructura
		Nombre ecoinvent	Nombre ecoinvent
		Kg	Kg
		1	1
		Ecoinvent 3_4	Ecoinvent 3_4
		Material	Material

Fase III. Muestreo de grasas, aceites, hidrocarburos y plomo: Se realizó el monitoreo de calidad ambiental del agua y arena mediante la determinación de parámetros fisicoquímicos.

Entre las técnicas utilizadas para la determinación de grasas y aceites en la arena de las playas evaluadas, se encuentran la de “Aceites y Grasas en Lodos”, que mediante un secado de los mismos, estando acidificados, se usó para extraer el porcentaje de los aceites, grasas e hidrocarburos de sólidos secos contenidos en dichas muestras.

Otra técnica utilizada fue la de “Obtención de Aceites y Grasas por Espectroscopia Infrarroja”, con la que se buscó establecer la cantidad en mg de aceites, grasas, hidrocarburos totales y plomo total existentes de los mismos (en litros) en las muestras evaluadas de agua.

Fase IV: Diseño de alternativa de energía más limpia: Se planteó una alternativa de energía más limpia con paneles fotovoltaicos. Con ello se espera reducir en un mayor porcentaje el impacto ambiental de los motores eléctricos. Para esto se tuvieron en cuenta factores como la demanda del sistema, el rendimiento, autonomía deseada y algunas condiciones de la ciudad, como la radiación solar incidente, que son fundamentales para el diseño de la alternativa.

Fase V: Evaluación de impactos ambientales: En esta fase se aplicó la herramienta de Análisis de Ciclo de Vida (ACV) para la determinación de los impactos ambientales (con énfasis en la huella de carbono) de los sistemas de abastecimiento energético actuales en la zona de estudio y los sistemas propuestos. Esto último incluye tanto el abastecimiento de la población como la estación de carga de baterías. Se utilizaron diferentes indicadores para representar la carga ambiental (CA), tales como la huella de carbono (kg de CO₂ equivalente), la demanda acumulada de energía (CED) e indicadores de toxicidad.

Fase VI: Comparación de resultados: Por último, se realizó la comparación en términos CA/pasajero, CA/kilómetro y CA/trayecto para el transporte de personas de la zona de estudio y la determinación de viabilidad de la utilización de motores eléctricos en los trayectos estudiados.

Resultados y Discusión

Línea base

Infraestructura: Se realizó una caracterización de los motores en estudio, es decir, el motor convencional Yamaha E 15 DMH 2 tiempos de 15 HP y el motor eléctrico Cruise 4 con 2 baterías Torqeedo de 8 HP y de la lancha Corvina 250.

Infraestructura del motor Yamaha E 15 DMH: Se obtuvo información del catálogo del motor con el fin de conocer cada pieza que lo compone, con su peso y el material del que está constituido. Se obtuvo de manera general la información suministrada en la Tabla 3 y Figura 1:

Tabla 3. Materiales de las piezas del motor Yamaha E 15 DMH

Materiales de piezas motor Yamaha E 15 DMH	
Material	Peso total (KG)
Caucho / Goma	1.504
Hierro	3.066
Acero inoxidable	21.457
Polietileno de alta densidad	6.653
Polietileno de baja densidad	2.926
Metal	1.499
Cobre	0.5
PRFV	1.2
Pintura	0.324

Fuente: Yamaha. “Parts Catalogue”

Figura 1: Motor Yamaha E 15 D MH



Fuente: Yamaha

Entre los materiales enunciados en la tabla anterior se encuentran desglosadas piezas como: Tapa superior, cilindro, válvula de entrada, pistón, carburador, combustible, motor de arranque, generador de arranque, parte eléctrica, cubierta inferior, dirección, control, soporte 1, soporte 2, funda

superior, impulsor inferior 1, impulsor inferior 2 y depósito de combustible [28,29,30,31, 32].

Infraestructura del motor Cruise 4

De la misma forma como se describió el motor convencional, se caracterizó el motor eléctrico desde el catálogo de Torqeedo. Para ello se obtuvo la información recopilada en la Tabla 4 y Figura 2.

Tabla 4. Materiales de las piezas del motor Cruise 4

Materiales de piezas del motor Cruise 4	
MATERIAL	PESO TOTAL (KG)
Polietileno de alta densidad	5.374
PRFV	4.315
Aluminio anodizado	10
Acero inoxidable	13.274
Cobre	0.17
Polietileno de baja densidad	0.77
Batería de Litio	24.3
Pintura	0.172

Fuente: Torqeedo. Productos Fuerabordas Cruise 4.0”

Figura 2: Motor Cruise 4



Fuente: Torqeedo productos

Por su parte, el motor Cruise 4 cuenta entre sus piezas con: Receptor GPS en la cabeza del eje, caña del timón, soporte del espejo, palanca de bloqueo de inclinación, tornillo de muletilla, perno trimador, eje, torpedo, aleta, llave magnética, hélice, juego de cables, ánodos de sacrificio, palanca para soltar el dispositivo de inclinación, tubo guía, cargador para la batería, timón, entre otros [33].

El motor Cruise 4 va acompañado de una batería Power 26-104 que suministra la energía necesaria para su funcionamiento.

Esta es una batería de litio de alto rendimiento de 2.685 Wh, como se muestra en la Figura 3, con una tensión nominal: 25.9 V, carga: 104 Ah; y un peso de 24.3 kg. Además, incluye un sistema de gestión de baterías con protección integrada contra sobrecarga, cortocircuito, descarga profunda, inversión de la polaridad, exceso de temperatura e inmersión [34].

Figura 3. Batería Power 26 – 104



Fuente: Torqeedo productos

Infraestructura de la lancha corvina 250

La lancha utilizada para la prueba de los motores fue una Corvina 250. Esta tiene una capacidad de transporte de 20 pasajeros. En el caso de las pruebas de los motores se transportaron entre 2 y 12 pasajeros por trayecto. En la Tabla 5 y Figura 4 se observan los materiales que componen esta lancha con su peso:

Tabla 5. Materiales de las piezas de la lancha Corvina 250

Material	Peso total (KG)
Madera	109.3
Resina	55.7
PRFV	121.21
Aluminio	23.3
Acero inoxidable	19.88
Polietileno de alta densidad	12.8
Polietileno de baja densidad	21.06
Hierro	40.98
Pintura	10.8

Fuente: Eduardoño

Figura 4. Lancha Corvina 250



Fuente: Eduardoño

Las piezas que componen esta lancha son: Repisa con compartimiento y tapa, costillas, pozo, placa, fuelle, protector de borda, tapón, banca retirable, espaldar, juego de estibas, cornamusa, capota, techo y kit de amarre de ancla.

Muestreos

Muestreo con motor Yamaha E 15 DMH

Se realizaron varias salidas de campo, en desarrollo de las cuales se recorrieron trayectos entre Cartagena e islas cercanas como Tierra Bomba, Bocachica, Caño del Oro, entre otras; y trayectos entre islas, obteniéndose datos relevantes para este estudio. En la Tabla 6 se observan las diferentes rutas realizadas con el motor convencional en una lancha Corvina 250.

Tabla 6. Trayectos realizados con el motor convencional

Trayectos				
#	Ruta	Cantidad	Km	Gasolina (l)
1	T. Bomba - Bocagrande	16	44.163	6.18
2	Bocagrande - T. Bomba	10	27.60	3.75
3	Bocagrande - Punta Arena	8	27.136	4.39
4	Punta Arena - Bocagrande	6	17.001	3.59
5	Bocagrande - Castillo	4	5.256	0.63
6	Punta Arena - Caño del Oro	3	16.922	1.81
7	Caño del Oro - Bocachica	1	4.96	0.36
8	Bocachica - Bocagrande	1	11.468	0.84
9	Bocagrande - Bocagrande	1	0.413	0.03
10	Castillo - Bocagrande	1	2.215	0.30
11	Castillo - T. Bomba	2	5.749	0.71
12	Punta arena - Punta arena	2	1.226	0.14
13	Caño del Oro - Punta arena	1	5.640	0.65
14	Tierra bomba - Castillo	1	2.921	0.34
15	Punta arena - T. bomba	2	5.515	0.78
16	Bocagrande - Mercado	1	4.915	0.73
17	Mercado - T. Bomba	1	6.954	1.04
18	T. Bomba - Punta arena	2	5.517	0.68
19	Caño del Oro - Bocagrande	1	15.468	2.04

De estos trayectos, se registraron datos generales que más adelante permitieron hacer una comparación de motores. En la Tabla 7 se observan dichos datos [35,36,37]:

Tabla 7. Datos generales salidas con motor convencional

Datos generales de recorridos motor Yamaha E 15 DMH	
Tiempo (h)	16
Distancia (km)	214.9
Velocidad promedio (km/h)	13.6
Cantidad de pasajeros	286
Litros totales de gasolina (l)	29
Costo gasolina x km(\$)	1162
Costo total gasolina (\$)	240000

Muestreo con motor eléctrico Cruise 4

En el caso de las pruebas con el motor eléctrico se realizaron trayectos entre la ciudad de Cartagena y la isla Tierra Bomba (en algunos casos hacia el sector Punta Arena). En la Tabla 8 se encuentra información referente a cada trayecto realizado [38,39,40]:

Tabla 8. Trayectos realizados con el motor eléctrico

Trayectos						
#	Ruta	Cantidad	Pasajeros	Km	%batería	Kwh
1	Bocagrande - Punta arena	2	7	11.2	43	3.177
2	Punta Arena - Bocagrande	3	11	10.9	47	3.472
3	T. Bomba - Punta arena	1	4	0.7	12	0.886
4	Bocagrande - T. Bomba	2	11	5	35	2.586
5	T. Bomba - Bocagrande	1	3	2.5	18	1.330

De esta prueba se tomaron los datos generales que permitieron hacer una comparación equitativa con los datos de las salidas con el motor convencional. En la Tabla 9 se relacionan estos datos:

Tabla 9. Datos generales salida con motor eléctrico

Datos generales de recorridos motor Cruise 4	
Tiempo (h)	2.2
Distancia (km)	34.5
Velocidad promedio (km/h)	12.7
Cantidad de pasajeros	36
% batería consumido (200)	155
Costo de 1 carga (2 baterías) en estrato 3 (\$)	10500
Costo x km recorrido (\$)	304.3
Kwh consumidos	11.45

Comparación de información

Una vez finalizadas las pruebas con los motores eléctrico y convencional, se realizó una comparación en cuanto a combustible y su costo, teniendo en cuenta que para el motor eléctrico, el combustible es la electricidad que proporcionan las baterías y, para el motor convencional, lo son la gasolina y el aceite. Esta comparación se realizó de la manera que se presenta en la Tabla 10:

Tabla 10. Comparación de motor convencional vs motor eléctrico

Datos	Motor Yamaha 15 HP (2 tiempos)	Motor Cruise 4 (8 HP) con 2 baterías Torqeedo
Días de prueba	5	2
Jornada (horas)	2 a 4	0.9 a 1.3
Nº trayectos x día	9 a 20	4
Duración promedio de trayectos (h)	3	1.11
Distancia total recorrida (km)	214.9	34.5
Distancia promedio x jornada (km)	11.1	6.06
Velocidad (km/h)	2.48 a 30.9	11.5 a 14
Costo de combustible x km (\$)	1162	304
Ahorro en combustible x km (\$)	857	
% Ahorro en combustible x km	73.8	

De la Tabla 10 se infiere que hay una gran rentabilidad en cuanto al costo de combustible, ya que, si se reemplaza el motor convencional por el motor eléctrico, el porcentaje de reducción o ahorro es de 73.8% por kilómetro recorrido. Esto teniendo en cuenta que el valor de 1 carga correspondiente a 2 baterías (14.77 kwh) tiene un valor de \$5250 en el estrato 3.

Inventario de ciclo de vida

Listas de inventario

Una vez determinadas las piezas y materiales que conforman cada infraestructura, se utilizó la base de datos Ecoinvent en su versión 3.4, con el fin de identificar la carga ambiental por kilogramo de producto relacionada con los diferentes contaminantes de agua, suelo, aire y el uso de recursos durante la fabricación, uso y disposición del producto. Todo lo anterior para comparar y determinar la viabilidad del proyecto.

Selección de indicadores

Se realizó la identificación de aquellas metodologías con indicadores que permiten la comparación y evaluación de los motores en estudio con la intención de determinar y clasificar su carga ambiental por kilómetro,

trayecto y pasajero desde la etapa de producción hasta la disposición final. Una vez seleccionados los indicadores, se hizo una relación entre el listado del inventario por kilogramo de producto y los indicadores seleccionados, obteniéndose lo mostrado en las Tablas 11 y 12:

Tabla 11. Indicadores de ciclo de vida para trayectos con el motor convencional

Trayecto con motor y YAMAHA					
Datos	Unidad	Gasolina	Aceite	Lancha	Motor
		I	kg	kg	kg
		1	1	1	1
		1	0,025	415,03	37,63
		ecoinven t3_4	ecoinven t3_4	ecoinven t3_4	ecoinven t3_4
		Material	Material	Material	Material
IPCC 2013: Climate change: GWP 100A	kg CO2- eq	0,769	1,465	4190,841	161,573
Recipe Midpoint (E): water depletion: WOP	m3	0,001	0,004	12,628	0,643
Recipe Midpoint (E): particulate matter formation: PMFP	kg PM10- eq	0,002	0,003	11,365	0,687
Recipe Midpoint (E): fossil depletion: FDP	kg oil eq	1,416	1,603	1272,899	49,812
Cumulative energy demand: total	MU-eq	60,323	69,756	310650,5 39	2570,472
Ecological footprint:total:total	m2a	2,018	3,804	79502,73 8	422,682
Ecological scarcity 1997:total:total	UBP	2482,453	4668,127	8361774, 22	480670,0 32
CML 2001: Acidification potential: generic	kg SO2-eq	0,006	0,009	19,293	0,942
CML 2001: Human toxicity: HTP 100a	kg 1.4 DCB eq	0,255	0,723	7802,43	1746,232
EDIP: Resource consumption: non - renewable resources: total	kg	1,348	1,676	2402,021	104,263

En la Tabla 11 se observan los elementos necesarios para la realización de un trayecto con el motor convencional y su carga ambiental correspondiente a cada indicador en estudio.

Tabla 12. Indicadores de ciclo de vida para trayectos con el motor eléctrico

Trayecto con motor Torqueado				
Datos	Unidad	Lancha	Motor	Electricidad
		l	kg	kwh
		1	1	1
		415,03	48,375	19,207
		ecoinvent3_4	ecoinvent3_9	ecoinvent3_9
		Material	Material	Material
IPCC 2013: Climate change: GWP 100A	kg CO2-eq	4190,841	335,933	0,207
Recipe Midpoint (E): water depletion: WOP	m3	12,628	1,738	0,001
Recipe Midpoint (E): particulate matter formation: PMFP	kg PM10-eq	11,365	1,37	0
Recipe Midpoint (E): fossil depletion: FDP	kg oil eq	1272,899	98,044	0,07
Cumulative energy demand: total	MU-eq	310650,539	5015,024	6,352
Ecological footprint:total:total	m2a	79502,738	878,97	0,517
Ecological scarcity 1997:total:total	UBP	8361774,22	1044175,04	281,202
CML 2001: Acidification potential: generic	kg SO2-eq	19,293	3,172	0,001
CML 2001: Human toxicity: HTP 100a	kg 1.4 DCB eq	7802,43	2099,525	0,074
EDIP: Resource consumption: non - renewable resources: total	kg	2402,021	188,126	0,099

En la Tabla 12 se observan la lancha y el motor, que incluye la batería y la electricidad correspondientes a los elementos de infraestructura necesarios para realizar recorridos con el motor eléctrico.

De estos indicadores con sus respectivas cargas, se desarrolló la evaluación de impactos ambientales por pasajero, por kilómetro y por trayecto. Los resultados de esta evaluación se presentan después de la propuesta de utilización de energía alternativa, ya que esta hace parte de la evaluación y comparación de los sistemas.

Propuesta de utilización de energías alternativas

Con el fin de disminuir aún más los impactos ambientales en el sistema de motores eléctricos, se planteó como alternativa para la carga de baterías una estación con paneles fotovoltaicos, estrategia de energía más limpia, dado que puede reemplazar la carga de éstas desde la red.

Para el diseño de la estación de carga se tuvo en cuenta la demanda necesaria para la realización de los trayectos promedios realizados por día de trabajo utilizando baterías Power 26-104 de Torqeedo, el rendimiento global y la autonomía deseada del sistema. En la Tabla 13 se observan los valores obtenidos en cuanto a la demanda para el funcionamiento eficiente de la alternativa.

Tabla 13. Demanda del sistema para cargar las baterías

Aparato	Cantidad	Potencia (W)	Tiempo de Funcionamiento (horas)	Consumo (Wh/día)
Batería - Power 26-104	4	29.550	3.9	460.976
Total consumo no continuo				460.976
Factores a tener en cuenta				
Rendimiento global				0.75
Demanda Total real (Wh/día)				614.635
Demanda Total real (kWh/día)				0.615
Autonomía deseada (días de funcionamiento eficiente)				7

Para la etapa de diseño se tuvo en cuenta la radiación solar incidente en la ciudad de Cartagena, esto teniendo en cuenta los datos reflejados en el Atlas de Radiación Solar en Colombia realizado por el IDEAM (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales); el factor hps (h/día) (horas de sol pico equivalentes), el cual tiene en cuenta la radiación solar incidente; y la potencia estándar de calibración del modelo del panel fotovoltaico a usar. Se tuvieron en cuenta algunas características de la batería power 26-104 como el voltaje, la capacidad de carga y profundidad de descarga; además, para la selección del panel fotovoltaico se revisaron diferentes catálogos a fin de seleccionar el más adecuado respecto a las condiciones del sistema. La radiación solar incidente en la ciudad de Cartagena varía entre 4.5 y 5.5 kWh/m²*día, con un promedio multianual de 5.5 kWh/m²*día. A partir de esto, el factor hsp tendrá un rango entre 4.5 y 5.5 h/día. La batería seleccionada modelo Power 26-104 tiene un voltaje de 25.9 V, con una capacidad de carga de 1.2 h y una profundidad de descarga de 75%. En la Tabla 14 se presentan las especificaciones del colector solar seleccionado.

Tabla 14. Especificaciones de colector solar - REC PEAK

Colector solar - REC PEAK: Modelo REC240PE	
Potencia estándar de calibración (kW/m ²)	1
Potencia pico (W)	240
Área del panel (m ²)	1,65
Rendimiento del panel (%)	14,5
Voltaje	37
Profundidad de descarga	90

Fuente: Rec Solar Spain S.L.U

Luego de conseguir las especificaciones técnicas y los datos bases de radiación y su incidencia, se obtuvo el número de paneles y el área para la instalación del sistema mediante la evaluación de dos métodos (para ver las mínimas diferencias de relación entre ambos). Los resultados del proceso de dimensionamiento se pueden observar en la Tabla 15:

Tabla 15. Datos de proceso de dimensionamiento

Número de paneles método 1	0,5691
	1
Área necesaria (m ²) método 1	0,939
Área necesaria (m ²) método 2	0,941
Número de paneles método 2	0,570
	1
Capacidad de baterías (Ah)	0,22149
Eficiencia de baterías instaladas %	88,6

Con los resultados obtenidos, se entiende que una batería tiene una capacidad de funcionamiento del 22%, por lo que las 4 baterías a utilizar tienen una eficiencia en el sistema del 88,6% para 7 días de autonomía. Todo esto, en el caso de que las instalaciones sean totalmente autónomas, y aclarando que estos días varían si se varía la obtención de energía con la red eléctrica.

Finalmente, según las características de las tablas anteriores, se determinó que el diseño correspondiente para la estación de carga es como el que se observa en la Figura 5.

Figura 5. Modelo de la estación de carga con paneles fotovoltaicos



Fuente: El mundo

Este diseño de la estación de carga está compuesto por una estructura de 90 Kg, de los cuales 36 Kg comprenden los paneles fotovoltaicos, 50.5 Kg la estructura de acero y, el peso restante, la soldadura y los tornillos

Con lo anterior se determinó el impacto ambiental, de la misma manera que se hizo con la lancha y los motores, obteniéndose los indicadores mostrados en la Tabla 16.

Tabla16. Inventario de ciclo de vida de la estación de carga

Estación de carga		
Datos	Unidad	Electricidad
		kg
		1
		90
		ecoinvent3_9
Material		
IPCC 2013: Climate change: GWP 100A	kg CO2-eq	500,06
Recipe Midpoint (E): water depletion: WOP	m3	1,79
Recipe Midpoint (E): particulate matter formation: PMFP	kg PM10-eq	2,01
Recipe Midpoint (E): fossil depletion: FDP	kg oil eq	137,53
Cumulative energy demand: total	MJ-eq	7342,37
Ecological footprint:total:total	m2a	1388,3
Ecological scarcity 1997:total:total	UBP	1284866,49
CML 2001: Acidification potential: generic		2,67
CML 2001: Human toxicity: HTP 100a	kg 1.4 DCB eq	4118
EDIP: Resource consumption: non - renewable resources: total	kg	318,43

Evaluación y comparación de impactos

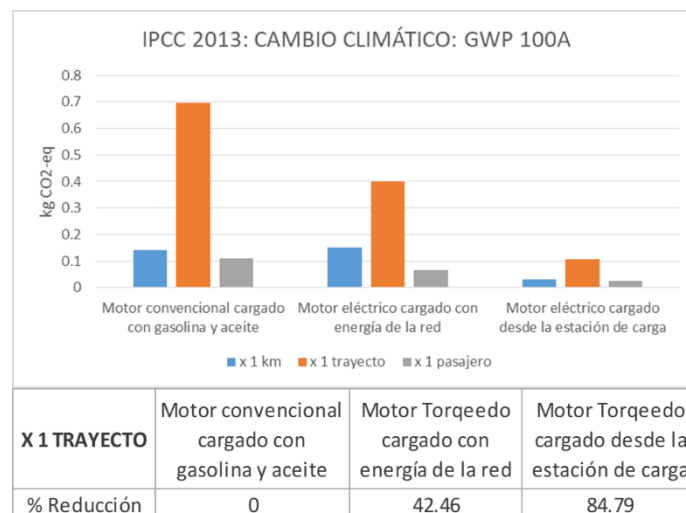
Impacto de los recorridos

Teniendo en cuenta los diferentes indicadores asociados a la lancha, los motores y combustibles, se determinó la carga ambiental para las tres situaciones siguientes: 1) Motor convencional cargado con gasolina y aceite, 2) Motor eléctrico cargado con energía de la red y 3) Motor eléctrico cargado desde la estación de carga; esto evaluado por kilómetro recorrido, por pasajero y por trayecto. Cabe resaltar que el trayecto seleccionado para este estudio fue Bocagrande - Tierra Bomba, ya que según la información de la línea base este es el que proporciona mayor información por la cantidad de trayectos realizados y los datos tomados. A continuación, se presentan los resultados de esta evaluación.

Impacto de los recorridos

Teniendo en cuenta los diferentes indicadores asociados a la lancha, los motores y combustibles, se determinó la carga ambiental para las tres situaciones siguientes: 1) Motor convencional cargado con gasolina y aceite, 2) Motor eléctrico cargado con energía de la red y 3) Motor eléctrico cargado desde la estación de carga; esto evaluado por kilómetro recorrido, por pasajero y por trayecto. Cabe resaltar que el trayecto seleccionado para este estudio fue Bocagrande - Tierra Bomba, ya que según la información de la línea base este es el que proporciona mayor información por la cantidad de trayectos realizados y los datos tomados. A continuación, se presentan los resultados de esta evaluación.

Figura 6. Carga ambiental asociada a IPCC 2013: Cambio climático: GWP 100^a

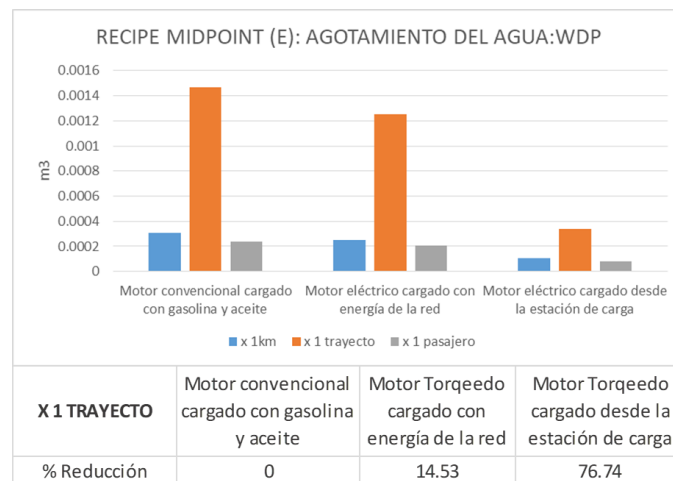


En la Figura 6 se observa el indicador de cambio climático evaluado a un periodo de 100 años con el fin de predecir los efectos a largo plazo. Este indicador está expresado en dióxido de carbono equivalente, que

corresponde a una medida universal de medición utilizada para indicar la posibilidad de calentamiento global de cada uno de los gases con efecto invernadero como son ozono, metano, vapor de agua, entre otros.

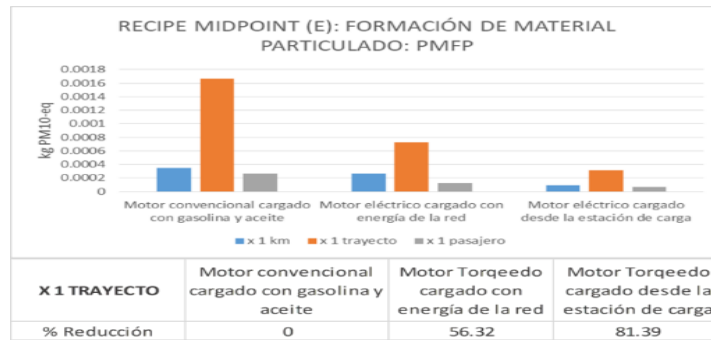
En consecuencia, se pudo determinar el porcentaje de reducción de emisión de los gases de efecto invernadero por trayecto, teniendo como base el motor convencional cargado con gasolina y aceite, que al ser reemplazado por el motor Torqeedo cargado con energía de la red reduce el impacto en 42.46%. Asimismo, si el motor Torqeedo se carga desde la estación de carga, el impacto se reduciría en 84.79%, lo que se considera una reducción de la carga ambiental bastante considerable, ya que corresponde a más del 80%.

Figura 7. Carga ambiental asociada a Recipe Midpoint (E): Agotamiento del agua: WDP



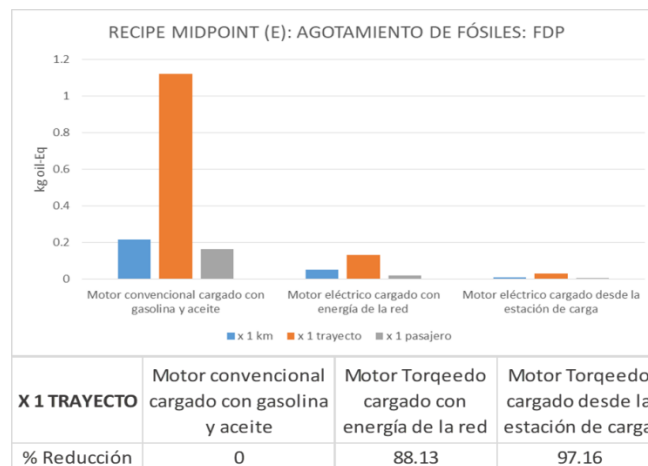
El indicador de agotamiento de agua sugiere la cantidad de agua necesaria durante el ciclo de vida del producto, es decir, el agua necesaria para la producción, uso y disposición de los motores y la estación de carga. De la Figura 7, se puede inferir, por tanto, que la diferencia entre el motor convencional cargado con gasolina y aceite y el motor Torqeedo cargado con energía de la red, no es muy considerable por kilómetro, por trayecto ni por pasajero. Esta información se constata al calcular el porcentaje de reducción correspondiente a 14.53%. Sin embargo, resulta viable ambientalmente, en cuanto a agotamiento de agua, cargar las baterías del motor Torqeedo en la estación de carga, ya que así el porcentaje de reducción sería de 76.74%.

Figura 8. Carga ambiental asociada a Recipe midpoint (E): Formación de material particulado: PMFP



En la Figura 8 se observa la formación de material particulado expresada en kg PM10-eq para un kilómetro, un trayecto y un pasajero en las diferentes condiciones evaluadas. En este caso, el motor Torqueedo tiene una ventaja considerable respecto al motor convencional por trayecto, pues en ambos casos de carga, ya sea con energía de la red o de la estación de carga, el porcentaje de reducción en cuanto a la carga ambiental es mayor a 50%.

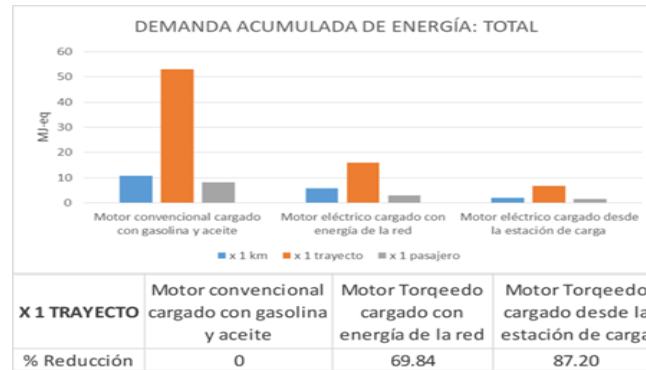
Figura 9. Carga ambiental asociada a Recipe midpoint (E): Agotamiento de fósiles: FDP



La Figura 9 Recipe midpoint evalúa el agotamiento de fósiles en unidad de kg petróleo-eq. Como se puede observar en la gráfica respectiva, hay una gran diferencia entre el motor convencional cargado con gasolina y aceite y el motor Torqueedo con las dos alternativas de carga en todos los casos, es decir, la diferencia es notable por kilómetro, por trayecto y por pasajero; correspondiendo así el porcentaje de reducción por trayecto para el motor Torqueedo cargado con energía de la red a 88.13% y al motor Torqueedo cargado desde la estación de carga a 97.16%. Este es un indicador clave en el proceso, porque da una percepción de lo que se dejaría de depender del petróleo y sus derivados. En ambos casos, la reducción de impactos en cuanto a carga ambiental es mayor a 85% y si las baterías son cargadas desde

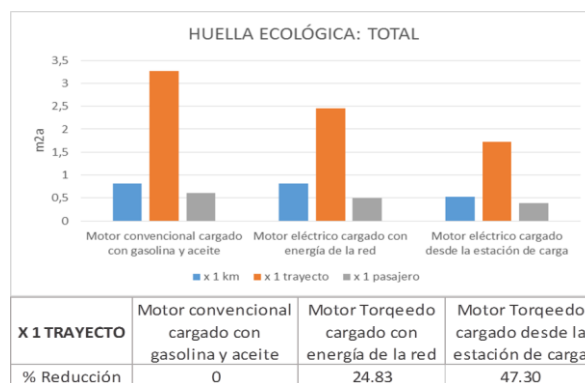
la estación de carga resulta casi del 100%, lo cual es bastante significativo para la búsqueda de energía asequible y no contaminante, uno de los objetivos de desarrollo sostenible adoptados por Naciones Unidas desde 2015.

Figura 10. Carga ambiental asociada a la demanda acumulada de energía: total



La demanda acumulada de energía en este caso se tomó total, con el fin de exponer toda la demanda, valorada como energía primaria, que se plantea en relación con la producción, uso y disposición del producto. Por lo tanto, se constituye en un indicador de los impactos ambientales en lo que respecta al rendimiento energético de los sistemas de generación de energía en su ciclo de vida. En la Figura 10 se observa el porcentaje de reducción de impactos por trayecto, que para el motor Torqeedo cargado con energía de la red, corresponde a 69.84% y el motor Torqeedo cargado desde la estación de carga a 87.20%. En este caso, la reducción de la carga ambiental también es mayor a 50%, de lo cual se infiere que esta es una buena alternativa.

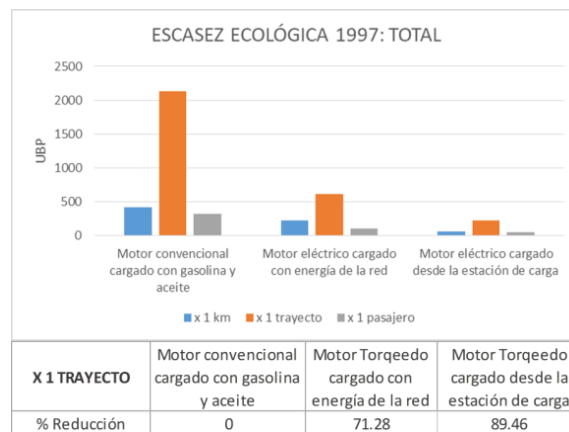
Figura 11. Carga ambiental asociada a la huella ecológica



La huella ecológica (Figura 11) es un indicador agregado definido como el área de territorio ecológicamente productivo (cultivos, pastos, bosques o ecosistemas acuáticos) necesario para producir los recursos utilizados y para asimilar los residuos producidos por una población dada con un modo de

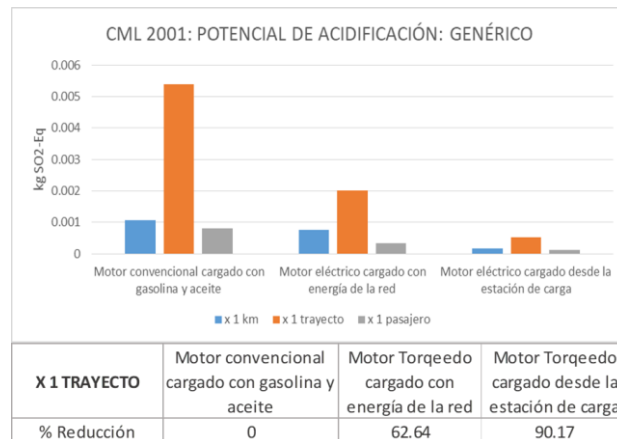
vida específico de forma indefinida. Por esto se expresa en m2a. La huella ecológica, además, es un indicador muy importante en la medición de impactos ambientales, por lo que el hecho de porcentajes de reducción en cualquier actividad es significativo para el planeta. Así, comparando el motor convencional cargado con gasolina y aceite y el motor Torqueado cargado con energía de la red, hay una reducción de la huella ecológica de 24.83%; y comparando el motor convencional cargado con gasolina y aceite con el motor Torqueado cargado desde la estación de carga, hay una reducción de 47.30% de huella ecológica. Estos valores son significativos, pues contribuyen a mejorar las condiciones ambientales del planeta, y aún más si se considera la totalidad del impacto que se produce durante la vida útil de los motores.

Figura 12. Carga ambiental asociada a la escasez ecológica



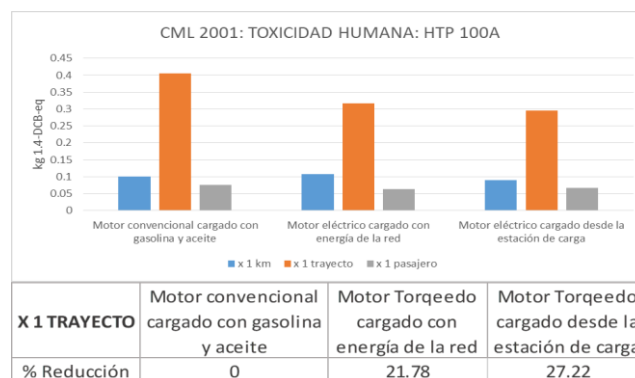
El indicador de escasez ecológica (Figura 12) establece los eco-factores que se implementan en 18 impactos ambientales diferentes (por ejemplo, calentamiento global, contaminantes del agua, pesticidas en el suelo, etc.). Los 18 subvalores ya están traducidos a la misma unidad y se pueden resumir para obtener un único resultado. Los eco-factores, expresados como puntos ecológicos por unidad de emisión de contaminantes o extracción de recursos, se normalizan con respecto a las emisiones / niveles actuales en Suiza, y se ponderan según los objetivos de política nacional suiza o los objetivos internacionales respaldados por Suiza. Este indicador sugiere una reducción considerable entre el motor convencional y el motor Torqueado, pues, cuando el motor convencional es reemplazado por el motor Torqueado cargado con energía de la red, el porcentaje de reducción corresponde a 71.28%; y si el motor Torqueado es cargado desde la estación de carga, dicho porcentaje es de 89.46%, por lo que en ambos casos es significativa la reducción, siendo esta mayor de 70%.

Figura 13. Carga ambiental asociada al potencial de acidificación



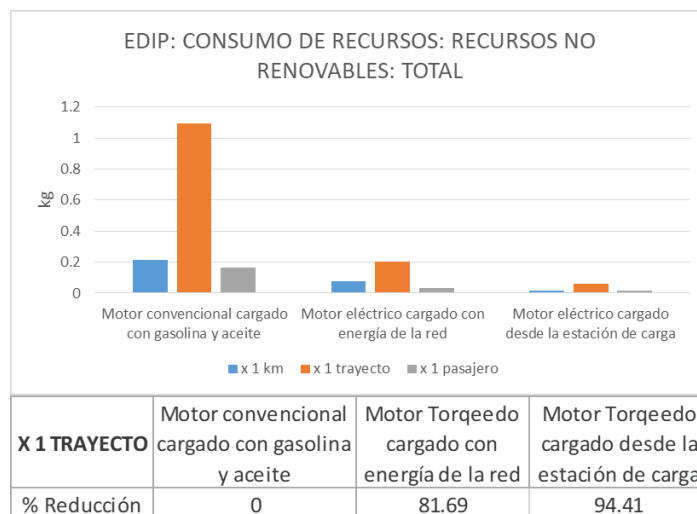
El potencial de acidificación consiste en la deposición de ácidos resultantes de la liberación de óxidos de nitrógeno y sulfuro en la atmósfera, en el suelo y en el agua, donde puede variar la acidez del medio y afectar a la flora y fauna que habita en él, así como los materiales de construcción. Afecta por tanto a las cuatro áreas de protección: salud humana, entorno natural, entorno modificado por el hombre y recursos naturales. De la Figura 13 se infiere al respecto que hay diferencias considerables en las tres condiciones evaluadas, es decir, entre el motor convencional cargado con gasolina y aceite, el motor Torqueado cargado con energía de la red y el motor eléctrico cargado desde la estación de carga. Esto se confirma al observar los porcentajes de reducción evaluados para un trayecto, donde el motor Torqueado cargado con energía de la red tiene una reducción de impacto correspondiente a 62.64% y el motor Torqueado cargado desde la estación de carga un 90.17%, situación favorable en ambos casos ya que reduce la carga ambiental en más del 60%.

Figura 14. Carga ambiental asociada a CML 2001: Toxicidad humana: HTP 100A



La toxicidad humana (Figura 14) es explicada como aquella toxicidad de una sustancia que dependerá de la propia sustancia, pero también de la vía de administración o exposición, la dosis, forma de administración, durabilidad, entre otros. En esta categoría el factor destino, y en especial el transporte a través de diferentes medios, tiene más importancia. Un contaminante no permanece en el medio, compartimento ambiental (entiéndase aire, suelo, agua superficial, subterránea, mar...) en que es emitido, sino que puede desplazarse y alcanzar otros compartimentos que serán a su vez contaminados. Una determinada sustancia puede incluso ser más dañina en un medio diferente al de su emisión. Este indicador es importante cuando se tiene en cuenta la salud de las personas, por lo que cualquier forma de reducir un factor de toxicidad se hace imprescindible. En este caso concreto, los porcentajes de reducción corresponden a 21.78% para el motor Torqeedo cargado con energía de la red y 27.22% para el motor Torqeedo cargado desde la estación de carga.

Figura 15. Carga ambiental asociada a EDIP: Consumo de recursos: Recursos no renovables total

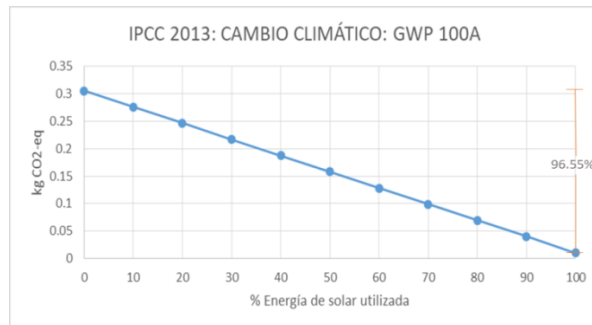


El método EDIP (Environmental Design of Industrial Products) indica la cantidad en kg de los recursos no renovables utilizados desde la producción hasta el final de la vida útil del producto, factor importante por tratarse de recursos no renovables del planeta. En la Figura 15 se observa una reducción considerable al reemplazar el motor convencional cargado con gasolina y aceite por el motor Torqeedo cargado con energía de la red y su porcentaje de reducción en cuanto a utilización de recursos no renovables, que corresponde a 81.69%; en tanto que si el motor Torqeedo es cargado desde la estación de carga la reducción es de 94.41%, ambas reducciones considerables al superar el 80%.

Análisis del sistema híbrido

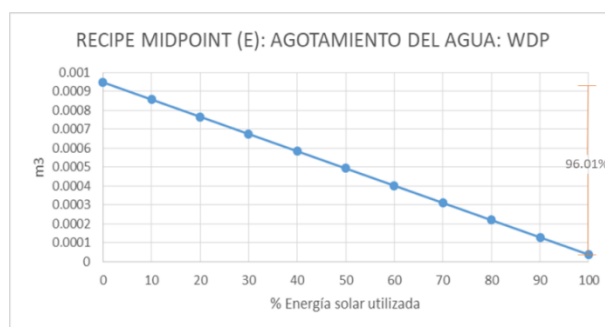
También se evaluó la forma de cargar las baterías del motor eléctrico con los indicadores seleccionados y teniendo en cuenta las siguientes opciones: 1) Cargar 100% con energía de la red, 2) cargar 100% desde la estación de carga solar fotovoltaica y 3) Cargar por medio de un sistema híbrido, combinando las dos alternativas en un rango de 10% a 90%, es decir, utilizando por ejemplo 10% energía de la red y 90% de energía solar, 20% de energía de la red y 80% de energía solar, y así sucesivamente. De este análisis se obtuvo lo siguiente:

Figura 16. Carga ambiental del sistema híbrido asociada a IPCC 2013: Cambio climático: GWP 100A



En la Figura 16 se observa la reducción de carga ambiental en cuanto a kg CO₂-eq al ir reemplazando la energía de la red para cargar las baterías por energía solar proveniente de la estación de carga. Así, al cargar las baterías con 100% energía de la red se tiene un impacto de 0.3 kg CO₂-eq; mientras que al cargar 100% con energía solar el impacto es de 0.01 kg CO₂-eq, lo que implica una reducción en la carga ambiental de 96.55%. Es importante resaltar que combinar estos dos sistemas trae beneficios significativos en cuanto a cambio climático, ya que se observa una reducción de impactos importante a medida que van variando por porcentajes.

Figura 17. Carga ambiental del sistema híbrido asociada a Recipiente Midpoint (E): Agotamiento del agua: WDP



En cuanto a agotamiento del agua, en la Figura 17 se puede observar una reducción de 96.01% m³ al reemplazar la carga de baterías con energía de la red por 100% energía solar, pasando de 0.00095 m³ a 0.00004 m³; y si se combinan los dos sistemas en un 50% se alcanza 0.0005 m³ aproximadamente. De modo que cuando no es posible reemplazar en su totalidad la carga de baterías por energía solar, el uso de un porcentaje de esta reduce significativamente el agotamiento de agua.

Conclusión

La evaluación y el análisis realizado para determinar la viabilidad ambiental de la implementación de electromovilidad náutica en el distrito de Cartagena arrojó resultados satisfactorios en cuanto a los indicadores seleccionados. La mayoría de indicadores alcanzó una reducción en cuanto a carga ambiental mayor a 50% para el motor Torqeedo cargado con energía de la red en comparación con el motor Yamaha convencional, exceptuando los indicadores de cambio climático, agotamiento del agua, huella ecológica y toxicidad humana con 42.46%, 14.53%, 24.83% y 21.78%, respectivamente.

Por otra parte, el porcentaje correspondiente a la carga ambiental de cada indicador se redujo todavía más al cargar las baterías del motor eléctrico con energía solar fotovoltaica proveniente de la estación de carga, donde la mayoría de indicadores se redujo a más del 75% en comparación con el motor Yamaha convencional. De esto último, se exceptúa la huella ecológica, con 47.30% y la toxicidad humana, con 27.22%. De lo anterior se infiere que aun cuando, ambientalmente, es viable cargar las baterías del motor eléctrico con energía de la red, resulta mucho mejor cargar las baterías con energía solar fotovoltaica.

En este proyecto se agregó, además, el indicador de agotamiento de fósiles con el fin de determinar la reducción de uso de petróleo y sus derivados. Al comparar, mediante este análisis, el motor Yamaha convencional con el motor Torqeedo cargado con energía de la red se encontró una reducción de 88.13%; y si es cargado con energía solar fotovoltaica, la reducción es de 97.16%. De lo anterior se infiere que es posible prescindir en más de 90% del uso de petróleo y sus derivados, y, en cambio, implementar tecnologías con energías más limpias.

En cuanto al sistema híbrido, las reducciones de carga ambiental fueron considerables para todos los indicadores; y aunque la toxicidad humana tuvo el valor más bajo con una reducción de 20.31%, se resalta que en este caso se redujeron los niveles de toxicidad a los que se encuentran expuestas las

personas que hacen uso de los equipos. De igual manera, se destaca que la combinación de los sistemas, es decir, el hecho de cargar con energía de la red y energía solar, reduce considerablemente la carga ambiental; así, cuando no sea posible implementar la carga de baterías con el 100% de energía solar, el solo uso de esta, a partir del 20%, la reduce de manera notoria la carga ambiental.

Referencias bibliográficas

1. A. Jaimurzina, D. Montiel D, G. Wilmsmeier. “Eficiencia energética y movilidad eléctrica fluvial: soluciones sostenibles para la Amazonía”, *Cepal*, vol. 353, no. 1, 2017.
2. ONU. Objetivos de desarrollo sostenible. Energía – Desarrollo sostenible. Objetivo 7.
3. G. Wilmsmeier, *Electro mobility on inland waterways*, 2017.
4. R. Landázury, “A propósito de la relación economía y medio ambiente: un balance crítico sobre las convenciones y tensiones epistémicas de la disciplina”, *Cuad. Econ.* Vol.26, no.47, 2017.
5. UN CEPAL. Unidad mujer y desarrollo. “Género, medio ambiente y sustentabilidad del desarrollo”, LC/L.1144.
6. ONU Medio ambiente-MOVE. “Estrategias y herramientas para la eficiencia energética y la sostenibilidad del transporte de carga terrestre”. *Calidad del aire y cobeneficios, Políticas, Tecnologías*, 2017.
7. Cooltra Corporate. “Agentes contaminantes de la gasolina”, *Movilidad sostenible*, 2016.
8. Aguamarket, “Contaminantes del agua, grasas y aceites”, *Aguamarker*, 2017.
9. Toorquedo, “Razón de ser de la empresa”. 2018.
10. World Wildlife Fun Inc. “Solaris”. 2017
11. Photovoltaics Perú. Sistema de movilidad sostenible en el río Tapiche, Perú. 2017
12. P. Salfado. “Electromovilidad y transporte por agua: una alternativa olvidada y sin explotar”, Universidad de los Andes, 2016.
13. G.Wilmsmeier, A. Jaimurzina. Facilitación del transporte y el comercio en América Latina y el Caribe. 2015
14. Agencia Chilena de Eficiencia Energética. “Los desafíos que plantea la electromovilidad a la distribución eléctrica”. 2016.
15. Agencia Chilena de Eficiencia Energética. “Qué es eficiencia energética”. 2018.
16. Torquedo. Motores fueraborda eléctricos: la tecnología de propulsión limpia más avanzada. “El récord mundial de eficiencia global: más autonomía para las embarcaciones eléctricas”. 2017.

17. Torqeedo. Motores fueraborda eléctricos: la tecnología de propulsión limpia más avanzada. “Más limpios que los fueraborda de gasolina”. 2017.
18. Torqeedo. Motores fueraborda eléctricos: la tecnología de propulsión limpia más avanzada. “Rendimiento y seguridad: las baterías de litio de Torqeedo”. 2017.
19. Universidad Técnica Federico Santa María. Tecnología de las baterías. 2017.
20. Secura Me. Baterías de Li-Ion: Ventajas, desventajas y mantenimiento. 2016.
21. Fundación Andaluza para la Divulgación de la Innovación y el Conocimiento. ¿Qué es el mix energético?, 2017.
22. Steca Elektronik. “Sistemas híbridos”, 2016.
23. ISO. Integrated Solar Operations. ¿Qué es un sistema solar fotovoltaico?. 2012.
24. Tecnología marítima. “Motores fueraborda”, 2012.
25. CM Electrónica. “Pros y contras de los tipos de propulsión para lanchas”, 2011.
26. Actualidad motor. “Ventajas y desventajas del motor de dos tiempos”, 2013.
27. W, Charpentier, Mezcla de combustible del motor fueraborda: relación de aceite a gasolina, 2017.
28. Rastreator, “¿Por qué la gasolina afecta tanto al medio ambiente?”. 2018.
29. Aguamarket, “Aceites y grasas”, 2017.
30. NTC ISO 14040. Gestión ambiental. “Análisis de ciclo de vida. Principios y marco de referencia”, 2007.
31. Ecoinvent. Ecoinvent versión 3.4. “¿Quiénes somos?”, 2017.
32. Yamaha. Parts Catalogue Motor Yamaha E 15 DMH.
33. Torqeedo. Productos Fuerabordas Cruise 4.0.
34. Torqeedo. Power 26-104. Disponible en: <https://media.torqeedo.com/downloads/manuals/torqeedo-power-26-104-manual-IT-ES.pdf>
35. IPCC. Intergovernmental panel on climate change. “Activities”, 2016.
36. ecoRaee. Informe de resultados del ACV del proceso, 2013.
37. J. Niembro, M.González, Categorías de evaluación de impacto de ciclo de vida vinculadas con energía: Revisión y prospectiva, 2008.
38. Asociación Española para la Calidad. Huella ecológica, 2018.
39. Antón, M. Capítulo 3. “Metodología del análisis de ciclo de vida”, 2004.
40. UPCOMMONS. Capítulo 2. “Normalización y valoración en ACV”, 2006.