

03-022

ENVIRONMENTAL AND ECONOMIC ASSESSMENT OF LIFE EXTENSION SCENARIOS IN ELECTRICAL AND ELECTRONIC APPARATUS. KETTLE APPLICATION.

Sández, Sonia ⁽¹⁾; Bovea Edo, M^a Dolores ⁽¹⁾; Ibáñez-Forés, Valeria ⁽¹⁾; Pérez-Belis, Victoria ⁽²⁾

⁽¹⁾ Universitat Jaume I, ⁽²⁾ PRINS: Centro de Investigación en Dirección de Proyectos, Innovación y Sostenibilidad. Universitat Politècnica de València

The New Circular Economy Action Plan encourages, among other aspects, the design of products that improve their durability, reusability, upgradeability and repairability, being the category of electrical and electronic equipment one of the priorities. In this context, and taking kettles as a case study, this communication aims to propose different end-of-life strategies that promote their useful life extension and to compare their environmental and economic impact. To this end, 54 alternative scenarios oriented to life-extension of small electrical and electronic equipment have been defined for kettles. These scenarios have been created through the combination of different levels of three parameters (level of use, level of maintenance and replacement time of a damaged part by considering different assumptions of the duration of the repaired product). Each scenario has been analyzed from an environmental and economic approach, by applying the Life Cycle Analysis and Life Cycle Cost methodologies.

Keywords: Circular economy; durability; kettle

EVALUACIÓN AMBIENTAL Y ECONÓMICA DE ESCENARIOS DE EXTENSIÓN DE VIDA ÚTIL EN APARATOS ELÉCTRICOS Y ELECTRÓNICOS. APLICACIÓN A HERVIDORES.

El Nuevo Plan de Acción de Economía Circular fomenta, entre otros aspectos, el diseño de productos que mejoren su durabilidad, reutilizabilidad, actualizabilidad y reparabilidad, siendo la categoría de productos eléctricos y electrónicos, una de las prioritarias. En este contexto, y tomando como caso de aplicación los hervidores domésticos de agua (kettles), el objetivo de esta comunicación es proponer estrategias de fin de vida que fomenten su extensión de vida útil, y comparar su impacto ambiental y económico. Se han planteado 54 escenarios alternativos que permiten extender la vida útil de PAEE, aplicado al caso de estudio de hervidores. La configuración de los escenarios se ha realizado en base a la combinación de diferentes niveles de tres parámetros (nivel de uso, nivel de mantenimiento y momento de reemplazo de una pieza estropeada, con varios supuestos de duración del producto reparado). Cada uno de estos escenarios se ha analizado desde el punto de vista ambiental y económico, mediante la aplicación de las metodologías de Análisis de Ciclo de Vida y Coste del Ciclo de Vida.

Palabras claves: Economía circular; hervidor; ACV;CCV; fin de vida.

Correspondencia: Victoria Pérez-Belis vicprebe@dpi.upv.es; bovea@uji.es

Agradecimientos: Los autores agradecen a la Conselleria de Innovación, Universidades, Ciencia y Sociedad Digital (Generalitat Valenciana) la financiación del estudio mediante el proyecto de I+D+i desarrollado por grupos de investigación emergentes (GV/2020/172).



©2021 by the authors. Licensee AEIPRO, Spain. This article is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International License (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

1. Introducción

Los principios de la economía circular se orientan a conseguir que el valor de los productos, los materiales y los recursos se mantengan durante el mayor tiempo posible en el ciclo de economía (Ellen McArthur Foundation 2013). Con el fin de promover la transición hacia esta economía circular, la Comisión Europea ha establecido el Plan de Acción de Economía Circular, que fue inicialmente publicado en 2015 (COM 614 2015), revisada su aplicación en 2017 (COM 33 2017) y actualizado en 2020 (COM 98 2020) como eje central para conseguir la neutralidad climática establecida en el Pacto Verde Europeo (COM 640, 2019).

Desde la perspectiva de diseño de productos, este marco normativo promueve la extensión de la vida útil de los productos mediante la incorporación de medidas que mejoren su durabilidad, reutilizabilidad, actualizabilidad y/o reparabilidad. Además, propone a la categoría de productos eléctricos y electrónicos, como una de las prioritarias, debido al elevado crecimiento, tanto de la cantidad de aparatos puestos en el mercado, como de la cantidad de residuos generados.

Dentro de las categorías de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEE) establecidas por la Directiva 2012/19/UE, Forti et al. (2020) establece que la categoría 5 de pequeño aparato eléctrico y electrónico (PAEE) ha sido la que mayor cantidad de residuos (en peso) ha generado a nivel europeo en 2019. Este dato se corrobora también a nivel nacional, a partir de los datos recogidos en el Registro de aparatos eléctricos y electrónicos (MINCOTUR, 2021).

Teniendo en cuenta este contexto, este estudio tiene como objetivo analizar el comportamiento ambiental y económico de diferentes escenarios que promueven la extensión de la vida útil de PAEE, centrándose en la subcategoría hervidores de agua domésticos (*kettle*). Para ello, se aplicará la metodología de Análisis de Ciclo de Vida (UNE-EN ISO 14040 2006; UNE-EN ISO 14044:2006/A1:2018) y Coste del Ciclo de Vida (Swarr et al. 2011) con el fin de obtener indicadores ambientales y económicos de cada escenario.

Estudios centrados en analizar desde la perspectiva ambiental alternativas de fin de vida de aparatos eléctricos y electrónicos (AEE) que mejoren su circularidad son escasos. Pérez-Belis et al. (2017a) comparan el comportamiento ambiental de diferentes escenarios de fin de vida en aspiradores. Bovea et al. (2020) comparan, desde el punto de vista ambiental, si es mejor reparar o reemplazar un AEE dependiendo del año en el que se produce el fallo y del tipo de fallo, analizando 11 categorías de PAEE, entre las que se incluye el hervidor. Pamminger, Glaser y Wimmer, (2021) analizan desde la perspectiva ambiental diferentes escenarios de fin de vida para teléfonos móviles. Boldoczki, Thorenz y Tuma (2020) comparan el impacto ambiental de la preparación para la reutilización frente a otras alternativas de fin de vida para ocho categorías de productos (lavadoras, refrigerador, congelador, cocina eléctrica, ordenador de sobremesa y portátil y monitor). Ninguno de estos estudios incorpora el aspecto económico junto al ambiental.

Respecto a la bibliografía específicamente centrada en el análisis de hervidores de agua domésticos, destaca el estudio de Murray et al. (2016) que identifica patrones de uso y potenciales escenarios de ahorro energético. Marcinkowski y Zych (2017) compara el impacto ambiental de un hervidor de caldera y uno eléctrico. Finalmente, Gallego-Schmid et al. (2018) compara el impacto ambiental de tres modelos de hervidores considerando la influencia de los requisitos de ecodiseño que se proponen a nivel europeo.

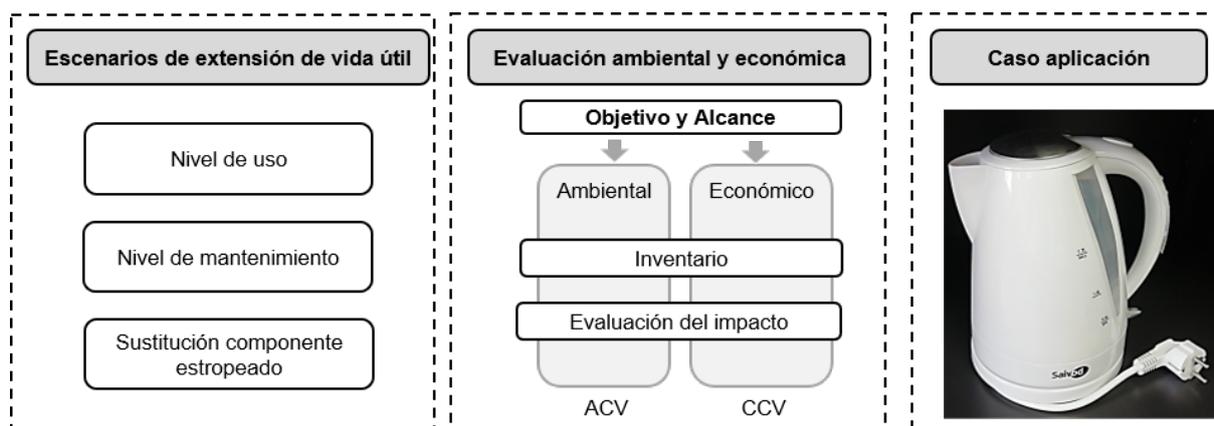
Como se observa, aunque los diferentes trabajos analizados estudian diferentes escenarios de fin de vida, incluyendo en muchos de ellos la reparabilidad, no incluyen en el alcance del

estudio el efecto que ésta provoca en la extensión de la vida útil del aparato, ni combinan el efecto que ello tiene sobre el desempeño económico junto con el ambiental.

2. Metodología

Con el fin de analizar el comportamiento ambiental y económico de diferentes estrategias que permiten extender la vida útil de un aparato eléctrico y electrónico, se propone la metodología mostrada en la Figura 1, cuyas etapas se describen y aplican a continuación al caso de estudio de hervidores de uso doméstico.

Figura 1: Metodología.



2.1 Definición de escenarios de extensión de vida útil

Se propone la definición de escenarios en base a tres parámetros, que pueden variar en función del usuario:

- Nivel de uso, con el supuesto de diferentes niveles (p.e.: bajo, medio y alto).
- Mantenimiento, con el supuesto de diferentes niveles (p.e.: bajo, medio y alto).
- Sustitución de componente estropeado en diferentes períodos de la vida útil del producto (p.e.: T1, T2, T3).

2.2 Evaluación ambiental y económica de escenarios

Para analizar, desde una perspectiva ambiental y económica, los escenarios definidos en la etapa 1, se aplican las metodologías ACV y CCV, respectivamente, siguiendo las etapas que se muestran en la Figura 1 y se describen a continuación.

- **Definición de objetivo y alcance.** El objetivo del estudio es obtener el desempeño ambiental y económico de los escenarios definidos en la etapa 1 incluyendo en el alcance del sistema todas las etapas del ciclo de vida del producto. Es necesario definir en esta etapa la unidad funcional a la que irán referidos todos los datos del estudio, tanto los del análisis ambiental como del económico.
- **Análisis de inventarios.** Se determinan los flujos cuantitativos de entrada y salida para cada una de las etapas incluidas en el alcance. Se debe desarrollar un modelo de inventario ambiental y un modelo de inventario económico. Ambos modelos de inventario deben obtenerse preferiblemente a partir de datos primarios y, cuando esto no sea posible, completar con datos secundarios obtenidos de la literatura o bases de datos. Para el análisis ambiental se pueden utilizar bases de datos como Ecoinvent (2020), GABI (GaBi, 2021), etc. Para el análisis económico, se pueden utilizar datos de precios de mercado de

materiales, componentes, piezas de repuesto, etc., o recurrir a bases de datos de precios de materiales/procesos, etc.

- **Evaluación del impacto.** Esta etapa permite obtener indicadores para las diferentes categorías ambientales y económicas, que en conjunto representan el desempeño ambiental y económico, respectivamente, de cada escenario analizado. Para el análisis del impacto ambiental, se pueden aplicar métodos de evaluación de impacto ambiental como CML (CML, 2016), ReCiPe (Huijbregts et al., 2017), etc. y se pueden obtener indicadores para diferentes categorías de impacto, según su aplicabilidad al estudio de caso (calentamiento global, acidificación, eutrofización, agotamiento de la capa de ozono, etc.). Para el análisis del impacto económico, se obtendrá el coste del ciclo de vida como suma de los precios de mercado de las diferentes etapas consideradas.

3. Caso de estudio

La metodología descrita se va a aplicar al hervidor de agua doméstico mostrado en la Figura 1. perteneciente a la categoría 5 de PAEE. Está fabricado en China y consta de las siguientes partes principales:

- Envase: constituido por la caja, los cartones separadores de los elementos interiores y las bolsas donde está el contenedor y la base para que no se rayen o se estropeen.
- Base: constituida por dos piezas principales de plástico que hacen de protección del sistema eléctrico (cable y pines eléctricos).
- Contenedor: fabricado el cuerpo del mismo en plástico (PP), contiene en la parte inferior la resistencia para poder calentar el agua.

La composición del material del hervidor se muestra en la Tabla 1.

Tabla 1: Definición de escenarios y nomenclatura.

Material	Peso (g)	Porcentaje (%)
Papel/cartón	164,3	16,3%
Metal	304,7	30,2%
<i>férrico</i>	244,5	80,2%
<i>no férrico</i>	60,2	19,8%
Plástico	538,5	53,5%
<i>PP</i>	431,4	80,1%
<i>PVC</i>	58,4	10,85%
<i>PA</i>	30,3	5,63%
<i>Otros</i>	18,4	3,42%
Total	1007,5	100%

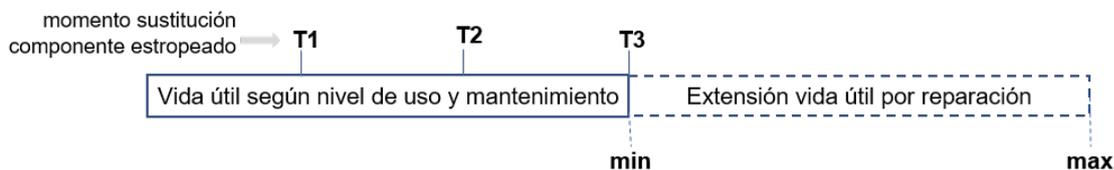
3.1 Definición de escenarios

Siguiendo los pasos de la metodología, se han combinado los siguientes parámetros:

- Nivel de uso, que implica una variación en el volumen de agua hervida diariamente. A partir de Pérez-Belis et al. (2017b), se considera un consumo de 7 litros de agua hervida por semana (uso alto), 4 litros por semana (uso medio) y 1 litro por semana (uso bajo).
- Nivel de mantenimiento, que implica una variación del número de veces que se descalcifica el contenedor. A partir de la información suministrada por los fabricantes, se suponen tres niveles de mantenimiento: descalcificar 1 vez al año (mantenimiento bajo), descalcificar cada 2 meses (mantenimiento medio) y descalcificar 1 vez al mes (mantenimiento alto).
- Períodos de sustitución de componente estropeado. Se asume que, debido al bajo coste de este tipo de aparatos, únicamente se considera viable económicamente la sustitución del componente estropeado por su pieza de recambio (sin reparación por parte del servicio técnico). El modelo de hervidor analizado únicamente dispone de un tipo de pieza de repuesto, correspondiente a la base. Se suponen tres momentos de fallo de la base (primer tercio de vida (T1), segundo tercio (T2) y al final de la vida útil inicial (T3)) y dos supuestos de duración del producto con la nueva base (mínima -no extiende la vida útil inicial del producto, asumiendo que puede fallar algún otro componente, y máxima - extiende la vida del producto, a partir de la sustitución del componente estropeado, el tiempo equivalente a la vida útil inicial del producto, asumiendo que no falla ningún otro componente) (Figura 2).

Cabe señalar que la combinación del nivel de uso del producto y el nivel de mantenimiento realizado, permite definir diferentes períodos de vida útil a partir del promedio de vida útil propuesto por el fabricante.

Figura 2: Vida útil y extensión de vida útil.



El esquema para la configuración de los 54 escenarios alternativos y su nomenclatura se muestra en la Figura 3. La nomenclatura de cada uno de ellos viene dada por Ewxyz, donde:

E: escenario

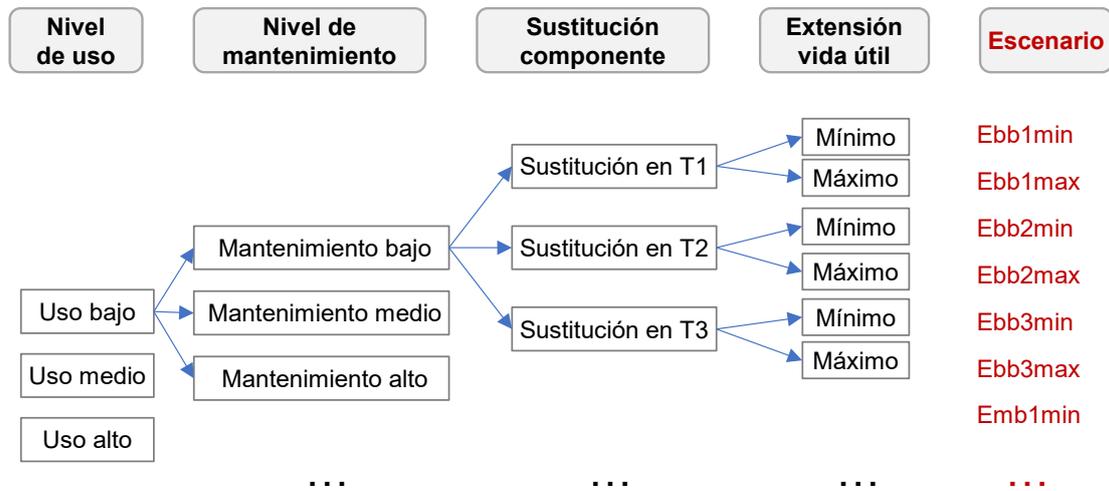
w: perfil de uso (b: bajo, m: moderado, a: alto)

x: nivel de mantenimiento (b: bajo, m: moderado, a: alto)

y: momento de fallo de componente (1: primer tercio de vida útil, 2: segundo tercio de vida útil, 3: final de vida útil)

z: extensión de vida útil (min, max)

Figura 3: Definición de escenarios y nomenclatura.



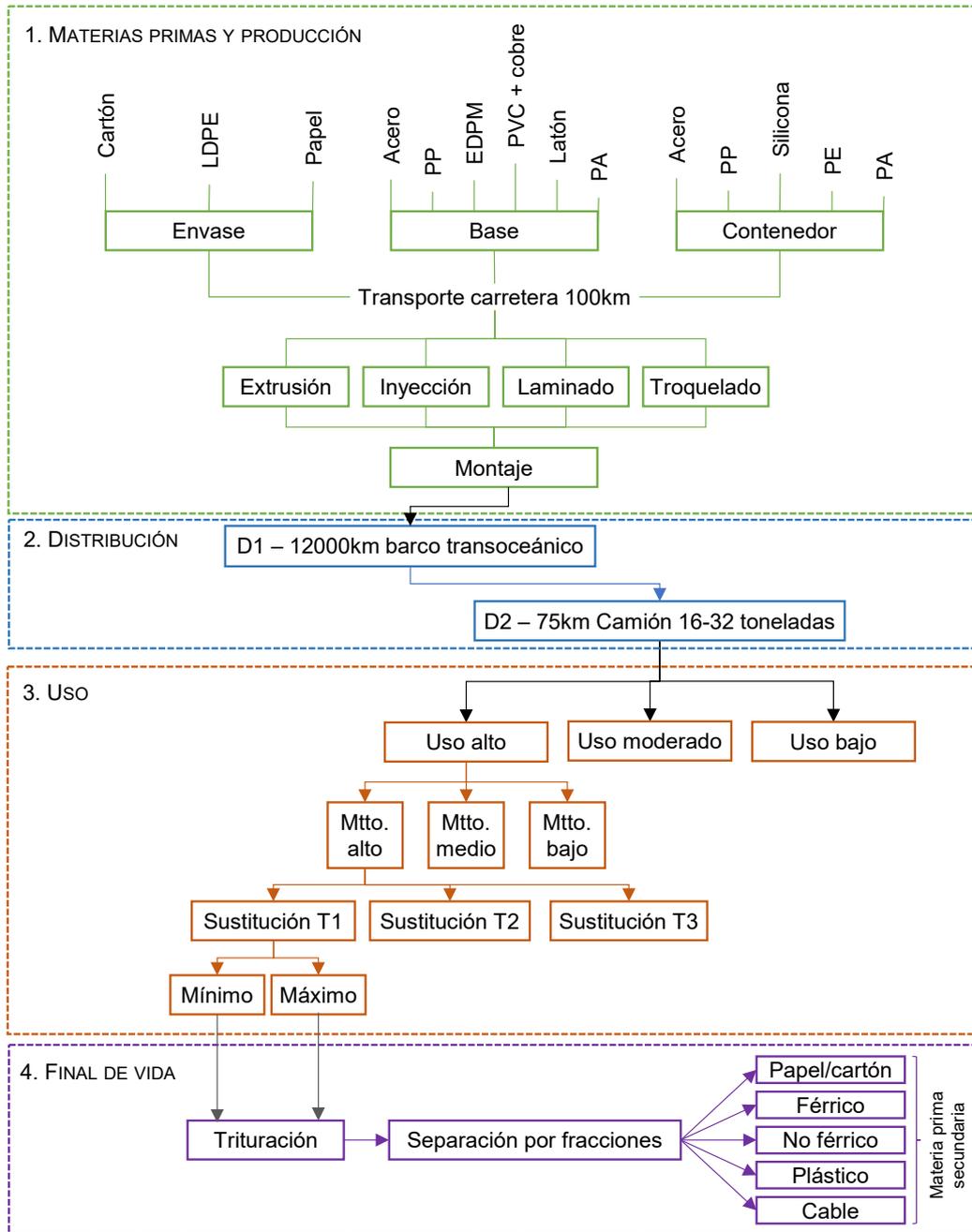
3.2 Evaluación ambiental y económica de los escenarios

Definición de objetivo y alcance

El objetivo del presente estudio es analizar, desde el punto ambiental y económico, el impacto de hervir 1 litro de agua en diferentes escenarios que fomentan la extensión de la vida útil.

Se ha considerado el alcance mostrado en la Figura 4, que incluye la extracción de materias primas y producción y montaje de todos los componentes del hervidor, su distribución y uso, considerando los diferentes escenarios de extensión de vida útil descritos en la Figura 3, y el fin de vida que considera su gestión como RAEE y la valorización de sus materiales como materia prima secundaria. Como cargas evitadas, se considera, además de las materias primas secundarias, el beneficio de utilizar un mismo hervidor durante el tiempo de extensión de vida útil de cada escenario. Queda fuera del alcance del estudio la infraestructura y el impacto asociado al vertido de las fracciones no valorizadas.

Figura 4: Alcance.



3.2 Inventario del ciclo de vida

En el modelo de se han considerados las siguientes hipótesis:

- **Extracción de materias primas y producción.** Se ha considerado que todas las materias primas son primarias y la distancia de transporte hasta la empresa fabricante del aparato es de 100km.
- **Distribución.** Se ha considerado una distancia de 120000 km con un barco transoceánico y un transporte por carretera con un camión de 16-32 toneladas de 75 km.

- **Uso.** A partir de ensayos en laboratorio, se ha medido el consumo energético de hervir 1 l de agua, que es 0.11 kWh. Este valor se encuentra en el rango de los consumos especificados en European Commission (2020). Para el mantenimiento, se ha considerado que se hierve una mezcla de 1 l de agua con ácido acético al 5 %, seguida de hervir dos veces 1 l de agua para eliminar el sabor de la mezcla descalcificante.
- **Final de vida.** Se han considerado que al finalizar la vida útil del hervidor, tanto el producto con el envase como la pieza sustituida se gestionan como RAEE. Se ha considerado un consumo eléctrico de 66 kWh/t por trituración y separación de los materiales (Ecoinvent, 2020). Para el cálculo de la carga evitada por la generación de materia prima secundaria, se han considerado los ratios de sustitución y eficacia del reciclaje propuestos por Rigamonti et al. (2009) (férico/no-férico: 1:1, papel-cartón: 1:08 y plástico: 1: 0.8).

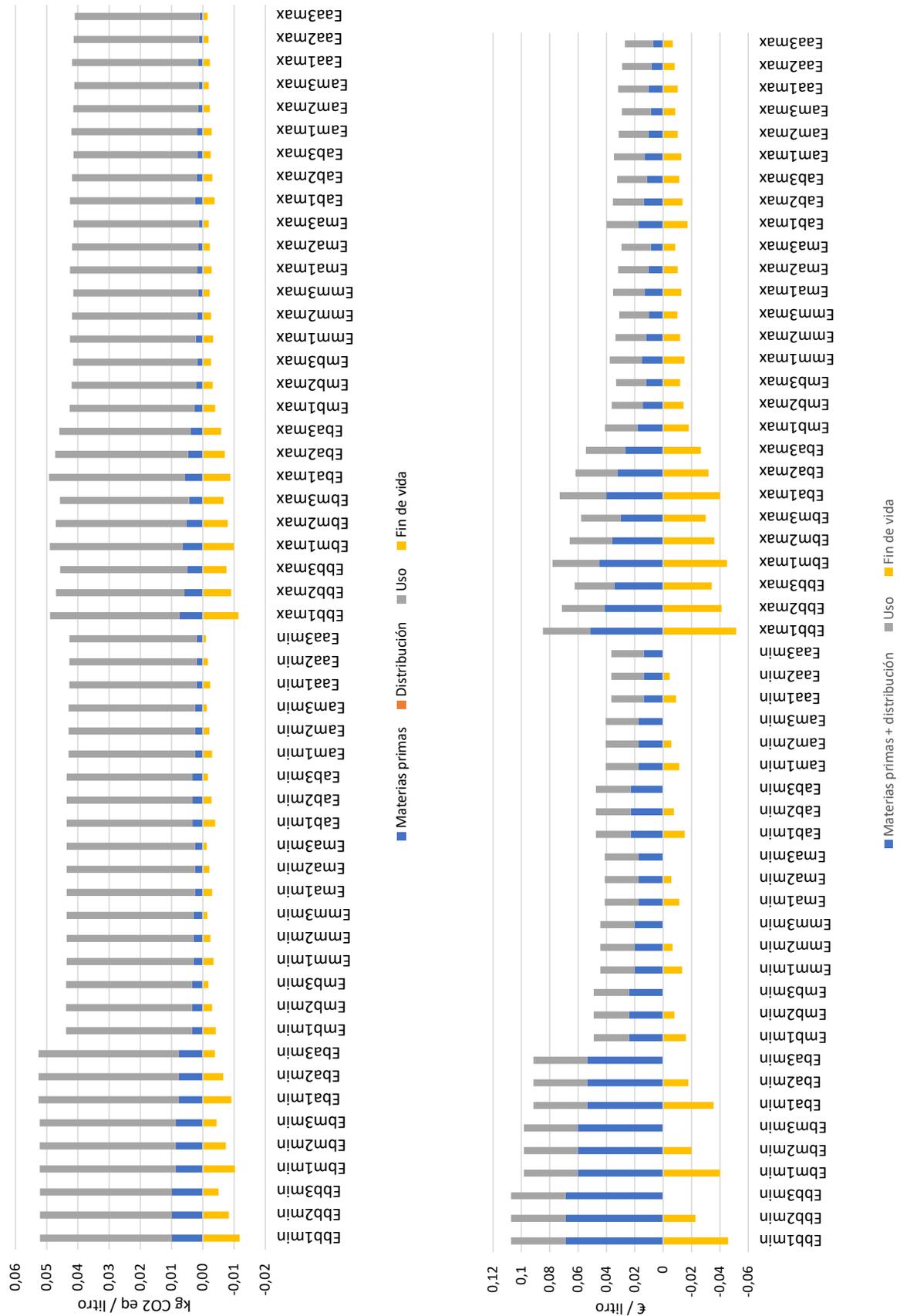
El inventario ambiental se ha diseñado utilizando la base de datos Ecoinvent (2020), mientras que para el económico se han considerado precios de mercado del producto, su pieza de recambio y descalcificante y coste de electricidad y agua.

3.3 Evaluación del impacto ambiental y económico

La evaluación del impacto ambiental se ha realizado con el software SimaPro 8.3 (PRé Consultants, 2018), donde se ha combinado el modelo de inventario descrito y el método de evaluación del impacto CML (CML, 2016), seleccionando la categoría de impacto de calentamiento global como indicador ambiental (kg CO₂eq), siguiendo las directrices de ISO 14040 (2006) e ISO 14044 (2006). La evaluación del impacto económico se ha realizado en Excel, donde se ha combinado el modelo de inventario descrito con los precios de fabricantes, piezas de repuesto, etc.

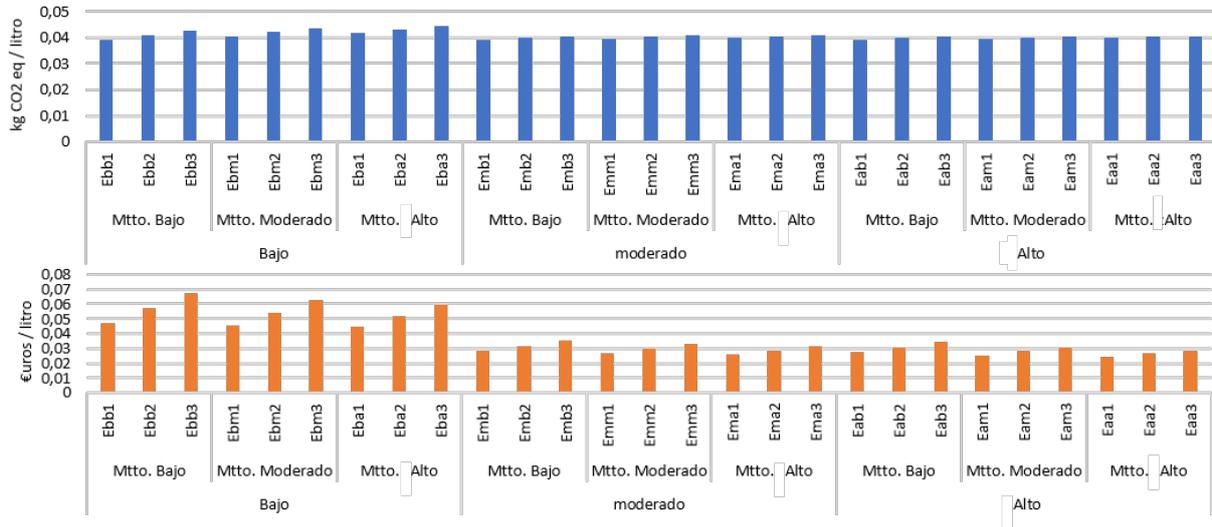
La Figura 5 muestra los resultados de la evaluación ambiental y económica para los 54 escenarios analizados.

Figura 5: Impacto ambiental y económico desglosado por etapa de ciclo de vida.



Tal y como se observa en la Figura 5, desde el punto de vista ambiental, la etapa de mayor impacto es la de uso seguida de fin de vida o materias primas, dependiendo del escenario. Desde el punto de vista de impacto económico, se observa que la fabricación es la etapa del hervidor que presenta mayor impacto económico. Sin embargo, estos costes se llegan a compensar en los escenarios en los que la extensión de vida útil es máxima) ($E_{wxy\max}$).

Figura 6: Impacto ambiental y económico promedio agrupado por uso y mantenimiento



A partir de los resultados mostrados en la Figura 6, se han analizado los diferentes patrones para cada parámetro bajo estudio. Los resultados obtenidos se listan a continuación:

- **Uso:** a medida que aumenta el uso, el impacto ambiental y económico disminuye independientemente del mantenimiento y de cuando se reemplaza la base. El salto observado entre uso bajo y moderado es mayor que entre el uso moderado y alto, por lo que se puede concluir que a partir de cierto nivel de uso los impactos ambientales y económicos tienden a estabilizarse.
- **Mantenimiento:** el impacto medioambiental aumenta según aumenta el mantenimiento mientras que el impacto económico disminuye. Esto se debe a que a mayor mantenimiento mayor es la extensión de la vida útil. Por lo tanto, puede afirmarse que el mantenimiento permite compensar el coste de fabricación del hervidor, pero no el impacto medioambiental asociado a la etapa de uso.
- **Momento de fallo del componente:** para un mismo nivel de mantenimiento y uso, el impacto ambiental y económico aumenta según aumenta el momento de fallo del componente. Es decir, los datos indican que se obtendría un mayor beneficio en aquellos escenarios en los que la base se sustituya con anterioridad. Se ratifica que en los escenarios en los que se alarga la vida útil ($E_{wxy\max}$), el impacto ambiental y económico es menor.

4. Conclusiones

Se han planteado 54 escenarios alternativos que permiten extender la vida útil de PAEE, aplicado al caso de estudio de hervidores. La configuración de los escenarios se ha realizado en base a la combinación de diferentes niveles de tres parámetros (nivel de uso, nivel de

mantenimiento y momento de reemplazo de una pieza estropeada, con varios supuestos de duración del producto reparado).

Los resultados alcanzados permiten afirmar que la propuesta de escenarios presentada es adecuada, ya que incluye diversos aspectos de interés, tanto generales como específicos relativos al uso y fin de vida de los AEE, facilitando obtener información sobre la extensión de la vida útil de los mismos.

Del análisis de los resultados obtenidos en el estudio, puede concluirse que el impacto ambiental y económico aumenta con el uso. Además, se observa que al alargar la vida útil del hervidor, el impacto baja. Es decir, cuando mayor sea la vida útil del hervidor, menor es el impacto económico y ambiental. Respecto al mantenimiento puede afirmarse que este resulta de interés en usos medios y altos. Es decir, realizar un mantenimiento, independientemente del tipo que sea (bajo, moderado o alto) solo aporta mejoras en el comportamiento ambiental para niveles de uso medios o altos. Finalmente, señalar que en caso de rotura y sustitución, el beneficio ambiental y económico obtenido se incrementa cuanto más temprano se produce el fallo.

Como desarrollos futuros, se propone extender este estudio a una muestra representativa de hervidores, para los cuales haya disponibilidad de más piezas de repuesto. En cuanto a la definición de escenarios, sería interesante analizar el reemplazo del componente estropeado año a año y compararlo con otros escenarios de fin de vida, con el fin de identificar qué estrategia de fin de vida optimiza el comportamiento ambiental y económico en función del momento en que se produce el fallo.

Referencias

- Boldoczki, S., Thorenz, A. & Tuma, A. (2020) The environmental impacts of preparation for reuse: A case study of WEEE reuse in Germany. *Journal of Cleaner Production*, 252, número de artículo 119736. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119736>
- Bovea, M.D., Ibáñez-Forés, V. & Pérez-Belis, V. (2020) Repair vs. replacement: Selection of the best end-of-life scenario for small household electric and electronic equipment based on life cycle assessment. *Journal of Environmental Management* 254, article number 109679. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.109679>
- CML (2016) [versión electrónica] Consultado por última vez el 26/03/2021. <https://www.universiteitleiden.nl/en/research/research-output/science/cml-ia-characterisation-factors>
- COM 33 (2017). The implementation of the Circular Economy Action Plan. Report from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions.
- COM 98 (2020). A new Circular Economy Action Plan for a cleaner and more competitive Europe, Communication from the Commission to the European Parliament, the

Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions.

COM 614. (2015). Closing the Loop: An EU action plan for the Circular Economy. Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions.

COM 640 (2019). The European Green Deal, European Commission, Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions.

Directiva 2012/19/UE del Parlamento Europeo y del Consejo de 4 de julio de 2012 sobre residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEE)

Ellen McArthur Foundation (2013). Towards a circular economy. The Ellen MacArthur Foundation, 2012. towards a circular economy. Economic and business rationale for an accelerated transition.

Ecoinvent (2020) [version electronica – base de datos: ecoinvent version 3.7.1] Consultado por última vez el 26/03/2021. <https://www.ecoinvent.org/>

European Commission (2020) Preparatory study for Kettles implementing the Ecodesign Working Plan 2016-2019. Task 5: Environment & Economic (final draft). https://circabc.europa.eu/sd/a/a0564d78-f640-4c7c-b692-123d206c01b0/Ecodesign_Kettles_Task_5_20201214_V22_Final_Draft.pdf

Forti, V., Baldé, C.P., Kuehr, R. & Bel, G. (2020) The Global E-waste monitor 2020 quantities, flows and the circular economy potential. United Nations University (UNU)/United Nations Institute for Training and Research (UNITAR) – co-hosted CYCLE Programme, International Telecommunication Union (ITU) & International Solid Waste Association (ISWA), Bonn/Geneva/Rotterdam.

GaBi (2021) [versión electrónica] Consultado por última vez el 26/03/2021. <http://www.gabi-software.com/spain/index/>

Gallego-Schmid, A, Jeswani, H.K., Mendoza, J.M.F. & Azapagic, A. (2018) Life cycle environmental evaluation of kettles: recommendations for the development of eco-design regulations in the European Union. Science of the Total Environment, 625, 135-146. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.12.262>

Huijbregts, M.A.J., Steinmann, Z.J.N., Elshout, P.M.F., Stam, G., Verones, F., Vieira, M. Zijp, M., Hollander, A. & van Zelm, R. (2017) ReCiPe2016: a harmonised life cycle impact

- assessment method at midpoint and endpoint level. *International Journal of Life Cycle Assessment* 22 – issue 2, 138-147. <https://doi.org/10.1007/s11367-016-1246-y>
- Marcinkowski, A. & Zych, K. (2017) Environmental Performance of Kettle Production: Product Life Cycle Assessment. *Management systems in production engineering*, 25, 255-261. <https://doi.org/10.1515/mspe-2017-0037>
- MINCOTUR (2021) Registro de aparatos eléctricos y electrónicos. Ministerio de Industria, Comercio y Turismo. Gobierno de España
- Murray, D.M., Liao, J., Stankovic, L. & Stankovic, V. (2016) Understanding usage patterns of electric kettle and energy saving potential. *Applied Energy*. 171, 231-242. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2016.03.038>
- Pamminger, R., Glaser, S. & Wimmer, W. (2021) Modelling of different circular end-of-use scenarios for smartphones. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 26 470-482. <https://doi.org/10.1007/s11367-021-01869-2>
- Pérez-Belis, V., Bakker, C., Juan, P. & Bovea, M.D. (2017a) Environmental performance of alternative end-of-life scenarios for electrical and electronic equipment: A case study for vacuum cleaners. *Journal of Cleaner Production*, 159 158-170. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.05.032>
- Pérez-Belis, V., Braulio-Gonzalo, M., Juan, P. & Bovea, M.D. (2017b). Consumer attitude towards the repair and the second-hand purchase of small household electrical and electronic equipment. A Spanish case study. *Journal of Cleaner Production*, 158, 261–275. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.04.143>.
- Rigamonti, L., Grosso, M. & Sunseri, M.C. (2009). Influence of assumptions about selection and recycling efficiencies on the LCA of integrated waste management systems. *International Journal of Life Cycle Assessment* 14(5), 411-419. <https://doi.org/10.1007/s11367-009-0095-3>
- SimaPro 8.3 (2018) <http://www.pre.nl/simapro>
- Swarr, T.E., Hunkeler, D., Klöpffer, W., Pesonen, H.L., Citroth, A., Brent, A.C. & Pagan, R., (2011). Environmental life-cycle costing: A code of practice. *The International Journal of Life Cycle Assessment* 16, 389-391. <https://doi.org/10.1007/s11367-011-0287-5>.
- UNE-EN ISO 14040 2006. Gestión ambiental. Análisis del ciclo de vida. Principios y marco de referencia. (ISO 14040:2006). Organización Internacional de Estandarización
- UNE-EN ISO 14044:2006/A1:2018. Gestión ambiental. Evaluación del ciclo de vida. Requisitos y directrices. (ISO 14044:2006/Amd 1:2017). Organización Internacional de Estandarización.

**Comunicación alineada con los
Objetivos de Desarrollo Sostenible**

