



IX SIMPOSIO IBEROAMERICANO DE  
**INGENIERÍA DE RESIDUOS**  
PANAMÁ, 20 al 23 SEPTIEMBRE del 2021

LIBRO DE ACTAS



**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PANAMÁ**

Ing. Hector Montemayor, RECTOR

Lic. Alma Urriola de Muñoz, VICERRECTORA ACADÉMICA

Dr. Alexis Tejedor, VICERRECTOR DE INVESTIGACIÓN, POSTGRADO Y  
EXTENSIÓN

Mgtr. Mauro Destro, VICERRECTOR ADMINISTRATIVO

Dr. Martin Candanedo, DECANO FACULTAD INGENIERÍA CIVIL

Mgtr. Erick Vallester, COORDINADOR GRUPO INVESTIGACIÓN GRUPONITRATO

**RED IBEROAMERICANA EN GESTIÓN Y APROVECHAMIENTO DE RESIDUOS**

**Comité Organizador**

Mgtr. Erick Vallester, Coordinador General del Simposio

Dr. Euclides Deago, Coordinador de ponencias

***Diagramación***

Mgtr. Erick Vallester

Lic. Ana Vallester

Ing. Tatiana Hatke

Septiembre 2021

ISBN: 978-9962-698-80-7

El IX Simposio Iberoamericano en Ingeniería de Residuos - IX SIIR - con el lema "Por un mundo limpio, libre de residuos", se desarrolló entre los días 20 y 24 de septiembre de 2021 en la ciudad de Panamá, mediante modalidad virtual.

### **Organizadores del IX SIIR**

El evento estuvo organizado por la Universidad Tecnológica de Panamá -Panamá - en conjunto con la RED IBEROAMERICANA EN GESTIÓN Y APROVECHAMIENTO DE RESIDUOS, y contando con la logística de la empresa Consultoría, Estudios y Diseños, S.A.

### **Antecedentes**

La Red de Ingeniería en Saneamiento Ambiental – REDISA se crea en el 2003 con apoyo económico de la Agencia Española de Cooperación Internacional (AECI) y a partir del 2008 se cuenta con la financiación del Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo (CYTED) para la conformación de la RED IBEROAMERICANA EN GESTIÓN Y APROVECHAMIENTO DE RESIDUOS, cuyo acrónimo sigue siendo REDISA (<http://www.redisa.net/>).

La Red tiene por objetivo el de configurar un espacio común, en el que las Universidades y Centros integrantes puedan compartir los resultados de los proyectos de investigación que los diferentes Grupos de trabajo llevan a cabo en su ámbito común.

Las Universidades y Centros que conforman REDISA son:



## COMITE CIENTIFICO

Adolfo Israel Lomeli	(Dirección General de Medio Ambiente, Mexico)
Alethia Vásquez Morillas	(Universidad Autónoma Metropolitana, México)
Amaya Lobo García de Cortázar	(Universidad de Cantabria, España)
Ana Belem Piña Guzmán	(Instituto Politécnico Nacional, México)
Ana López Martínez	(Universidad de Cantabria)
Ana Lorena Esteban	(Universidad de Cantabria, España)
Antonio Gallardo Izquierdo	(Universitat Jaume I, España)
Beatriz Adriana Venegas Sahagún	(Universidad de Guadalajara, México)
Belkis Lara	(Universidad Latina de Panamá, Panamá)
Carlos Alberto Gonzales	(Instituto Tecnológico Superior de Abasolo, México)
Clarisa Alejandrino	(Universidad Nacional de Cuyo, Argentina)
Cláudia Coutinho Nóbrega	(Universidad de Federal da Paraíba, Brasil)
Claudia Estela Saldaña Duran	(Universidad Autónoma de Nayarit, México)
Claudia Celeste Florentín López	(Universidad Católica Nuestra Señora de la Asunción, Paraguay)
Denis Marie Del Valle	(Universidad Tecnológica de Panamá, Panamá)
Edgar Quiñones Bolaños	(Universidad de Cartagena, Colombia)
Ellen Pacheco	(Universidad de Federal do Río de Janeiro, Brasil)
Erick Napoleón Vallester	(Universidad Tecnológica de Panamá, Panamá)
Estefani Rondón	(Universidad de Cantabria, Chile)
Estevao Freire	(universidad de Federal do Río de Janeiro, Brasil)
Euclides Manuel Deago	(Universidad Tecnológica de Panamá, Panamá)
Fabian Robles Martínez	(Instituto Politécnico Nacional, México)
Fabiola Adam Cabrera	(Universidad Católica Nuestra Señora de la Asunción, Paraguay)
Francisco Colomer	(Universitat Jaume I, España)
Gerardo Bernache	(Centro de Investigaciones y Estudios Superiores en Antropología Social, México)
Gerlin Salazar Vargas	(Universidad de Costa Rica, Costa Rica)
Guillermo Monros Tomas	(Universitat Jaume I, España)
Hamilcar Almeida	(universidad de Federal da Paraíba, Brasil)
Irma Mercante	(Universidad Nacional de Cuyo, Argentina)
José Wilmer Runfola Medrano	(Universidad de Los Andes, Venezuela)
Juan Pablo Ojeda	(Universidad Nacional de Cuyo, Argentina)
Julieta Chini	(Universidad Nacional de Cuyo, Argentina)
Lamberto Valqui Valqui	(Universidad Jaume I, Perú)
Laura Patricia Brenes-Peralta	(Instituto Tecnológico de Costa Rica, Costa Rica)
Luiza Eugênia da Mota Rocha Cirne	(universidad de Federal de Campina Grande, Brasil)
Luz Graciela Cruz	(Secretaría Nacional de Ciencia, Tecnología – SENACYT, Panamá)
María del Mar Carlos Alberola	(Universitat Jaume I, España)
Marcel Segismundo Szanto Narea	(Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, Chile)
María del Consuelo Hernández Berriel	(Instituto Tecnológico de Toluca, México)
María del Consuelo Mañón Salas	(Instituto Tecnológico de Toluca, México)
María Dolores Bovea Edo	(Universitat Jaume I, España)
María Yolanda Leonor	(Instituto Politécnico Nacional, México)
Maribel Velasco	(Universidad Autónoma Metropolitana, México)
Maricelma Ribeiro Morais	(Universidad de Estadual da Paraíba, Brasil)
Marta Braulio	(Universitat Jaume I, España)
Miguel Cuartas Hernández	(Universidad de Cantabria, España)
Monica Pertel	(Universidad de Federal do Río de Janeiro, Brasil)
Mónica Eljaiek Urzola	(Universidad de Cartagena, Colombia)
Nancy Merary Jiménez	(Universidad Nacional Autónoma de México, México)
Norma Graciela Cantero Araujo	(Universidad Católica Nuestra Señora de la Asunción)
Otoniel Buenrostro Delgado	(Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, México)
Patricio Marques de Souza	(Universidad de Federal de Campina Grande, Brasil)
Regia Lucia Lopes	(Instituto Federal de Río Grande del Norte, Brasil)
Roberto Lima Morra	(Universidad Católica Nuestra Señora de la Asunción, Paraguay)
Roel Campos	(Instituto Tecnológico de Costa Rica, Costa Rica)
Rosa María Espinosa	(Universidad Autónoma Metropolitana, México)
Samantha Sotelo	(Universidad Autónoma de Baja California, México)
Sara Ojeda	(Universidad Autónoma de Baja California, México)
Silvia Soto	(Instituto Tecnológico de Costa Rica, Costa Rica)
Susana Llamas	(Universidad Nacional de Cuyo, Argentina)
Sylvie Turpin	(Universidad Autónoma Metropolitana-Unidad Azcapotzalco, Mexico)

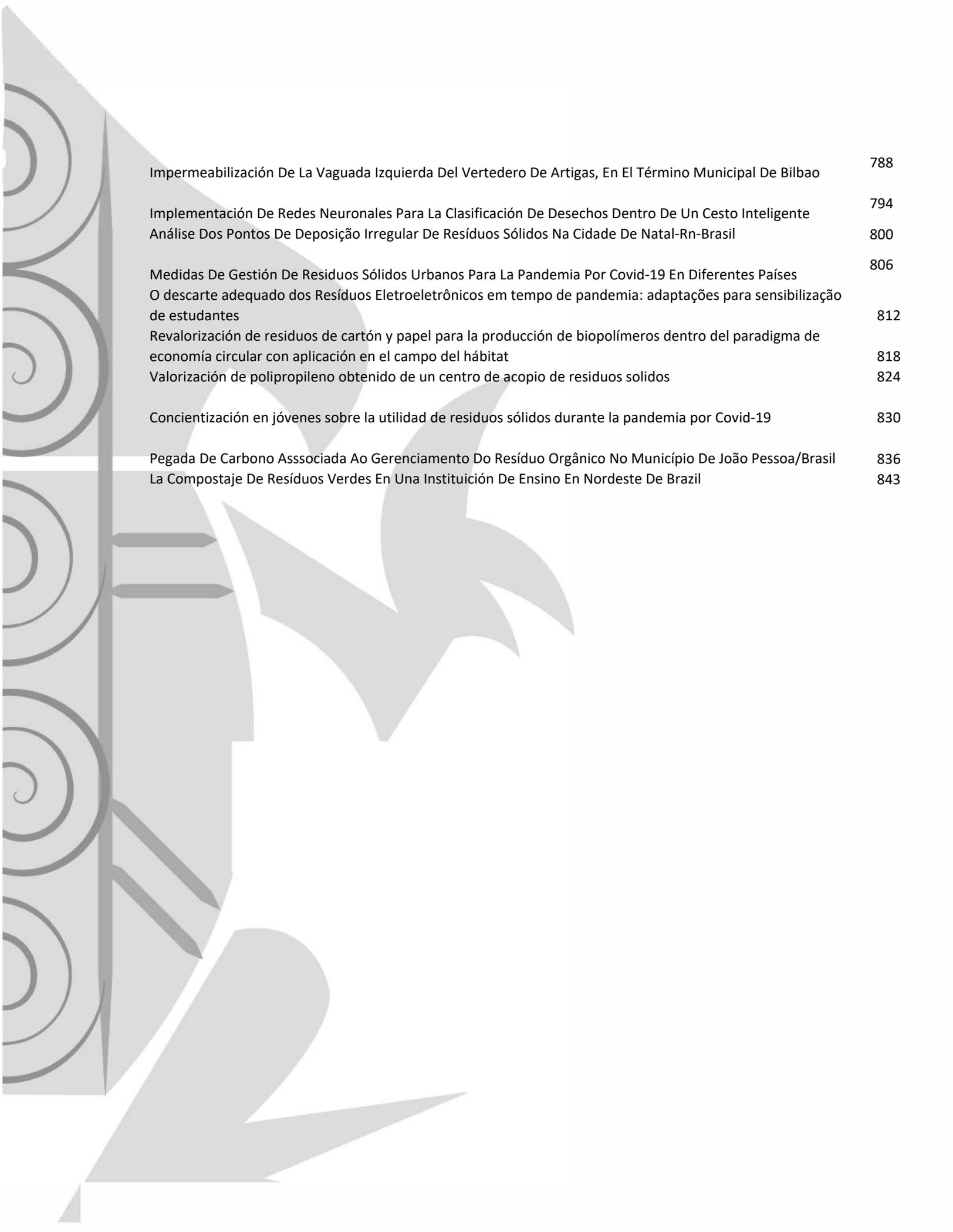
## ÍNDICE

<b>Caracterización, minimización y reciclaje de residuos</b>	<b>1</b>
Recogida Puerta A Puerta De La Fracción Orgánica De Los Residuos Sólidos Urbanos: Resultados De La Experiencia Piloto Aplicada En Los Colegios De Castelló De Plana (España)	2
Microplásticos en áreas marinas y costeras protegidas. Retos y oportunidades	10
Flujo de impactos ambientales representados mediante diagrama Sankey en estudio de caso realizado en instalaciones de una empresa de construcción eléctrica en la ciudad de Victoria de Durango, México.	16
Análisis De Costo Del Compost Como Material De Cobertura A Partir De Los Residuos Sólidos Urbanos Para Un Relleno Sanitario	23
Reducción de impactos en la gestión de RCD en las obras de construcción y demolición	31
Presencia De Residuos Sólidos En Dos Playas Con Distinta Afluencia Turística En Tuxpan, Veracruz	38
Aplicación de la economía circular en las obras de construcción y demolición	44
Fotocatalizadores Bactericidas De Perovskita Hexagonal Sr4Mn2CuO4 Para La Degradación De Lixiviados Resistentes A Tratamientos Convencionales	50
Deshidratación De Lodos Producidos En Un Matadero Bovino Empleando Geocontenedores. Caso A Escala Real Desarrollado En Buenos Aires, Argentina.	59
Variación De La Concentración De Microplásticos En Tres Líneas Temporales De Residuos De Una Playa Mexicana	67
Fabricación de polímeros biodegradables a base de almidón de tubérculos panameños seleccionados	73
Evaluación De Los Residuos Orgánicos Generados En Sodas Y Supermercados Para Su Uso Potencial Alimenticio En Animales Por Medio De Compostaje Automatizado	79
Caracterización De Residuos Sólidos Urbanos De La Ciudad De Asunción, Paraguay, 2019-2020	88
Elaboración De Paneles Para Aislamiento Térmico A Base De Cascarilla De Arroz	118
Metareciclagem E Inclusão Digital, Instrumentos Para Redução Das Perdas Educacionais No Município De Campina Grande, Pós Covid- 19: Um Computador Nota 10	124
Obsolescência E Taxa De Recuperação De Equipamentos Eletroeletrônicos Doados Para O Projeto Um Computador Nota 10	130
Panorama Del Aprovechamiento De Los Residuos Textiles	136
Sistema De Ekomuros Con Botellas Recicladas Para El Mejoramiento Del Confort Térmico En Viviendas Unifamiliares A Escala Piloto En La Región Caribe Colombiana.	142
Caracterización De Residuos Sólidos Durante La Pandemia Covid-19 En Dos Distritos De La Provincia De Huancaayo En El Perú	148
Propuesta De Una Metodología Para La Identificación De Microplásticos En Procesos De Desalinización	154
Estimación de la concentración de colillas de cigarro en espacios públicos mediante ciencia ciudadana	160
<b>Caracterización de Residuos y tratamiento</b>	<b>166</b>
Análisis De La Producción De Compost A Través Del Uso De Biosólidos Y Materiales De Origen Orgánico	167
<b>Contaminación Marina</b>	<b>173</b>
Análisis del estado actual de la contaminación marina en el Golfo de California	174
<b>Educación en residuos sólidos</b>	<b>180</b>
Red Municipal De Reciclaje De Centros De Acopio De Residuos Sólidos En El Municipio De León, Guanajuato, México	181
Proyectos Escolares De Manejo De Residuos Sólidos Para Aprender A Pensar	186
Mídias Digitais Como Instrumentos Da Educação Ambiental Em Saneamento	193

Valorización De Residuos Empresariales: Una Estrategia Didáctica Y Pedagógica	199
Efectividad De Los Contenedores Temporales De Residuos Sólidos En Una Ies; Percepción Desde La Óptica Estudiantil	205
Experiencias e Impacto Educativo del Proyecto Punto de Entrega Voluntaria de Materiales para el Reuso y el Reciclaje en las Comunidades de la ciudad de Mérida, Venezuela	211
Vinculando a la comunidad para la co-creación de barrios sostenibles: El caso de “Comunidad Laboratorio”	217
Percepciones Del Enverdecimiento Del Campus A Partir De “Basura Cero”	223
Percepción De Estudiantes De Ingeniería En Una IES Sobre La Prevención Y Gestión De Residuos	229
<b>Gestión de residuos y política ambiental</b>	<b>235</b>
Evaluación De Alternativas Mediante La Metodología De Análisis De Ciclo De Vida De La Gestión De Los Residuos De Demolición Y Construcción En Proyectos De Construcción De Instituciones Académicas En Santa Marta, Colombia	236
Manejo De Residuos Sólidos Urbanos Durante El Saneamiento De Un Sitio No Controlado. Caso De Estudio: Tecolutla, Veracruz, México.	244
Criterios Técnicos Ambientales Para Evaluar La Sostenibilidad De Infraestructuras De Rellenos Sanitarios En América Latina Y El Caribe	250
Indicadores De Gestión De Residuos En Las Herramientas De Evaluación De La Sostenibilidad A Nivel Urbano Y De Edificio	256
Evolución del impacto ambiental de los Sistemas de Gestión de Residuos en la consecución de objetivos normativos para el corto y medio plazo: caso de estudio	262
Avances De Proyecto Carbonización De Biomasa   Aprovechamiento De Residuos Agrícolas Para El Mejoramiento De Las Propiedades Físicoquímicas Del Suelo En Áreas De Cultivo	268
Análisis Comparativo De Programas Estatales De Gestión Integral De Residuos. El Caso De Los Estados De Jalisco Y Guanajuato, México	274
Caracterización Físicoquímica De Residuos Aceitosos Del Sector Automotriz En El Gran Santo Domingo, República Dominicana	280
Plásticos de un solo uso: análisis comparativo sobre su regulación y alternativas de política pública en seis entidades mexicanas	287
Encuentros Y Desencuentros En La Gestión De Residuos Sólidos Urbanos En La Zona Metropolitana Del Valle De México	293
Diagnóstico Das Áreas De Disposição Final De Resíduos Sólidos Urbanos No Estado Do Rio Grande Do Sul Utilizando O Índice De Qualidade De Aterros Sanitários.	299
Índices De Reparabilidad De Productos: Aplicación A Cafeteras De Cápsulas	305
Análisis De Indicadores De Circularidad Aplicados A La Gestión De Residuos Sólidos Municipales	311
Actualización de la Primera Caracterización Nacional de Recicladores (Vertedero de cerro Patacón)	318
La cooperación intermunicipal en la gestión de residuos en Jalisco, México	324
Enfermedades En Plantas Y Humanos, Riesgos Presentes En El Compostaje	330
18 años del Programa de Gestión Integral de los Residuos Sólidos Urbanos de la UAM-Azcapotzalco, Separación: Recapitulación de avances	337
Análisis de las condicionantes urbanas para la valorización de residuos sólidos municipales en barrios de alta vulnerabilidad social en Chile	343
Caracterización De Lodos Orgánicos Carbonizados De Una Planta De Tratamiento De Aguas Residuales Para El Mejoramiento De Suelos	350
Información Sólida Para Políticas De Residuos Sólidos Municipales Eficaces: Identificación Del Comportamiento De La Generación De Residuos A Múltiples Niveles Espaciales De Organización	356
Nomenclatura De Residuos Sólidos Para Negociar La Responsabilidad Extendida Del Productor En Tratados De Libre Comercio Entre Países De Distinto Desarrollo Económico. Caso De Estudio: Panamá	362
Gestión de Desechos COVID 19 en Honduras. Una muestra en 8 hospitales públicos	368

Situación De Los Programas De Recuperación De Residuos Plásticos En El Área Metropolitana De Mendoza, Argentina	374
Percepción de la ciudadanía sobre las condiciones de trabajo de los recolectores en el contexto del COVID-19	380
Pensamiento de Ciclo de Vida y Métodos de Decisión Multicriterio en la valorización de residuos, ejemplo de un consorcio universitario	386
Sistema de Gestión de Residuos Sólidos para la Universidad Nacional de Asunción - Proyecto 14-INV-408	392
El Diagnóstico De Producción Y Manejo De Residuos En México	398
Gestión De Los Residuos Sólidos Domiciliarios: De Residuos A Recursos. El Caso De Chile	403
Avaliação Da Gestão Da Coleta Seletiva Em Natal-Rn-Brasil Utilizando Indicadores De Sustentabilidade	410
Identificação Dos Resíduos Sólidos E Proposta De Gestão Integrada De Um Dos Centros Universitários De Uma Universidade Pública Brasileira	416
Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos de una Comunidad de Bajos Ingresos.	422
Descarte irregular de resíduos sólidos em grandes cidades latino-americanas: estudo de caso de Fortaleza - Ceará - Brasil	429
Análisis de la NOM-083-SEMARNAT-2003 y su Proyecto de Modificación 2021	435
Evaluación de escenarios de fin de vida de pequeño aparato eléctrico y electrónico desde la perspectiva ambiental y económica. Aplicación a hervidores (kettles)	441
Desmantelamiento De Aerogeneradores: Escenarios De Gestión De Residuos Mediante Acv	447
<b>Impacto y riesgo ambiental</b>	<b>453</b>
Elementos do saneamento e descartes de plásticos na praia de Intermares – Cabedelo – PB – Brasil	454
Coleta Seletiva Em Tempos De SARS-COV-2: Procedimentos De Segurança Operacional Dos Catadores Da Cotramare.	460
Presencia De Microplásticos En Bloqueadores Solares	466
Uso De Sistemas De Información Geográfica Para Localizar Recursos Hídricos Posiblemente Contaminados Por La Inadecuada Disposición De Residuos Sólidos Urbanos Urbanos	473
Efectos ambientales de estrategias de economía circular para la gestión de residuos sólidos municipales en las comunas de La Pintana y Vitacura	479
Mitigación De La Huella De Carbono En Vertederos Mediante Oxidación Del Metano. Revisión De Alternativas Existentes	485
Evaluación De Impactos Ambientales Del Composteo De Pañales Desechables	491
Producción Y Consumo Responsables Del Hormigón Hacia Un Desarrollo Sostenible: ¿Cómo Medir?	497
<b>Relleno Sanitarios y Vertederos</b>	<b>503</b>
Propuesta Metodológica Para La Toma De Decisiones Entre Rehabilitación Y Clausura De Sitios De Disposición Final	504
Paquete Grava-Bentonita Como Barrera Impermeable Para Contener Líquidos Contaminantes	511
Geomembranas En Rellenos Sanitarios En Panamá	518
Técnicas De Medición Para Emisiones Fugitivas De Metano En Vertederos De Residuos: Revisión Bibliográfica	523
Importancia Del Diseño De Un Relleno Sanitario Dentro De Una Concesión Minera	529
<b>Software aplicado a la gestión de residuos</b>	<b>535</b>
Implementación de Redes Neuronales para la Clasificación de Desechos dentro de un Cesto Inteligente	536
Diseño De Un Sistema De Recogida Puerta A Puerta En Establecimientos Productores De Biorresiduos	542
Aplicando Sistemas De Información Geográfica: Caso De Castellón De La Plana (España).	
Desarrollo de una aplicación Web Mapping para geoposicionar sitios de disposición final en municipios periféricos del Estado de México.	550
Sistema Informático De Gestión De Desechos Electrónicos Informáticos (Sidei)	556

<b>Tratamiento biológico de residuos</b>	<b>563</b>
Biotratamiento De Suelo Contaminado Por Aceite Residual Automotriz: Un Residuo Peligroso	564
Digestión Anaerobia De Lodos De Un Tratamiento Físicoquímico De Aguas Residuales	570
Evaluación Del Potencial De Producción De Biogás A Partir De La Digestión Anaerobia De Residuos De Alimentos Utilizando Agua Con Diferentes Niveles De Salinidad	576
Degradación De “Plásticos Amigables Con El Ambiente” En Un Proceso De Composteo	582
Aprovechamiento de pérdidas de alimentos generadas en la industria alimentaria mediante biosecado	588
Valorización de pérdidas de alimentos mediante compostaje y biosecado para pequeñas agroindustrias procesadoras de frutas	594
<b>Valorización de residuos sólidos y recuperación de energía</b>	<b>600</b>
Pirólisis De Residuos Sólidos Urbanos Y Agroalimentarios. Posibles Aplicaciones Del Bio-Oil	601
Aprovechamiento De Materiales Susceptibles De Recuperación De Los Residuos Sólidos Urbanos En La Zona Límite Del Oriente De Michoacán Y El Estado De México	607
Evaluación de ecoeficiencia del uso de plástico reciclado en paneles constructivos	613
Mercado De Biomasa Forestal Y Agroindustrial En Costa Rica	619
Valorización De Residuos De La Industria De Café, En La Obtención De Coagulantes Naturales	626
Lodos Digeridos y su Potencial Energético Aprovechable	637
Evaluación Del Potencial De Producción De Biogás Del Residuo De Cribado De Maíz, Subproducto Derivado De La Industria Del Bioetanol.	642
Valorización De La Biomasa Agrícola Y Forestal En Zonas Rurales De La Zona Mediterránea Española	648
Evaluación de la biodegradabilidad del residuo de aguacate para determinar la factibilidad de valorizarlo	654
Valorización de residuos de diferentes industrias en la fabricación de baldosas cerámicas	660
Revalorización De La Fracción Plástica De Residuos De Aparatos Eléctricos Y Electrónicos (Raee).	666
Valorización De Los Residuos Generados En El Cultivo Del Arroz: Paja Y Cascarilla	672
Tecnología Bts-Mpdry Para La Limpieza Del Biogás. Una Forma Eficiente De Eliminar Componentes Peligrosos Del Biogás De Vertederos.	678
Modelo conceptual de gestión de los efluentes de vertederos. El vertedero metanador.	684
Potencial de valorización energética de residuales de una planta de tratamiento mecánico biológico en la Región Metropolitana de Buenos Aires, Argentina	690
Evaluación De Lodos De Purines De La Cuenca Porcina Union Marcos Juarez-Cordoba-Argentina	696
Generación De Energía Eléctrica A Partir De Residuos Sólidos Urbanos En Mendoza (Argentina)	702
Combustible sólido recuperado producido a partir de biorresiduos de una planta de tratamiento mecánico biológico de residuos sólidos urbanos	709
<b>Trabajos Tipo Posters</b>	<b>724</b>
Perspectivas Do Gerenciamento Dos Resíduos Sólidos Domiciliares Em João Pessoa – Paraíba/Brasil, Visando À Economia Circular	725
Criterios Técnicos Ambientales Para Evaluar La Sostenibilidad De Infraestructuras De Rellenos Sanitarios En América Latina Y El Caribe	732
Alternativas Para Redução Do Impacto Ambiental Causado Pelos Resíduos Da Construção Civil	738
Utilização De Softwares Aplicados A Gestão De Resíduos Da Construção Civil: Uma Revisão	744
La Recolección De Residuos Durante El Covid-19: Visión De Los Trabajadores	750
Análise Da Coleta Seletiva Em Condomínios. Estudo De Caso: João Pessoa – Paraíba – Brasil	755
Diagnóstico De La Implementación De Logística Reversa En Empresas Fabricantes De Equipamientos Electro Electrónicos Asociados Al Simmmeb (Poster)	761
Implementación Y Operación De Gestión Sostenible De Residuos Orgánicos En La Universidade Federal De Paraíba - Ufpb: Compostaje De Hojarasca	769
Certificación Cero Residuos En La Industria Del Chocolate Como Propuesta De Mitigación De Impactos Ambientales	775
Análise Da Geração De Resíduos No Canteiro De Obras: Um Estudo De Caso	782



Impermeabilización De La Vaguada Izquierda Del Vertedero De Artigas, En El Término Municipal De Bilbao	788
Implementación De Redes Neuronales Para La Clasificación De Desechos Dentro De Un Cesto Inteligente	794
Análise Dos Pontos De Deposição Irregular De Resíduos Sólidos Na Cidade De Natal-Rn-Brasil	800
Medidas De Gestión De Residuos Sólidos Urbanos Para La Pandemia Por Covid-19 En Diferentes Países	806
O descarte adequado dos Resíduos Eletroeletrônicos em tempo de pandemia: adaptações para sensibilização de estudantes	812
Revalorización de residuos de cartón y papel para la producción de biopolímeros dentro del paradigma de economía circular con aplicación en el campo del hábitat	818
Valorización de polipropileno obtenido de un centro de acopio de residuos solidos	824
Concientización en jóvenes sobre la utilidad de residuos sólidos durante la pandemia por Covid-19	830
Pegada De Carbono Associada Ao Gerenciamento Do Resíduo Orgânico No Município De João Pessoa/Brasil	836
La Compostaje De Resíduos Verdes En Una Institución De Ensino En Nordeste De Brazil	843



## EVALUACIÓN DE ESCENARIOS DE FIN DE VIDA DE PEQUEÑO APARATO ELÉCTRICO Y ELECTRÓNICO DESDE LA PERSPECTIVA AMBIENTAL Y ECONÓMICA. APLICACIÓN A HERVIDORES (*KETTLES*)

**Sandez, Sonia**<sup>1</sup>; Ibáñez-Forés, Valeria<sup>1</sup>; Pérez-Belis, Victoria<sup>2</sup>; Bovea, María D.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>INGRES, Departamento de Ingeniería Mecánica y Construcción, Universitat Jaume I, Castellón, España, bovea@uji.es

<sup>2</sup>PRINS, Departamento de Proyectos de Ingeniería, Universitat Politècnica de València, Valencia, España, vicprebe@dpi.upv.es

### Resumen

El Nuevo Plan de Acción de Economía Circular fomenta, entre otros aspectos, el diseño de productos que incrementen su vida útil mediante la incorporación de requisitos de diseño relacionados con su reparabilidad, reutilizabilidad o actualizabilidad, siendo, la categoría de aparatos eléctricos y electrónicos, una de las prioritarias. En este contexto, y tomando como caso de aplicación los hervidores domésticos de agua, el objetivo de este estudio es identificar, desde el punto de vista ambiental y económico, la mejor alternativa de fin de vida si se ha producido un fallo en el aparato: sustituir o reparar y seguir utilizando. Para ello, se definen escenarios alternativos en función del tipo de fallo y el año en el que se produce el fallo. La información necesaria para modelar cada escenario se obtiene de la caracterización de componentes y materiales en el laboratorio de un aparato, y de bases de datos de reparación, servicios de atención al cliente o reparadores. Cada uno de los escenarios de fin de vida se analiza desde la perspectiva ambiental mediante la aplicación de la metodología de Análisis del Ciclo de Vida (ACV) y desde la perspectiva económica mediante la aplicación de la metodología de Coste del Ciclo de Vida (CCV).

### Palabras clave:

ACV, CCV, fin de vida, evaluación ambiental, evaluación económica.

### Abstract

The New Circular Economy Action Plan promotes, among other aspects, the design of products that increase their lifespan by incorporating design requirements related to their reparability, reusability or updatable, being, the category of electrical and electronic equipment, one of the priorities. In this context, and taking as a case study the domestic kettles, the aim of this study is to define and analyze, from the environmental and economic point of view, the best end-of-life scenarios if there has been a failure in the device: replacement or repair and continue to use. To do this, alternative scenarios are defined depending on the type of failure and the year in which the failure occurs. The information needed to model each scenario is obtained by the characterization of the components and materials of the device in the laboratory, and from reparation databases, repairers, or customer services. Each of the end-of-life scenario are analyzed from

the environmental perspective through the application of the Life Cycle Analysis (LCA) methodology and from the economic perspective through the application of the Life Cycle Cost (LCC) methodology.

## keywords:

LCA, LCC, end-of-life, environmental performance, economic performance.

## 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 un Nuevo Plan de Acción de Economía Circular (COM 98 2020) que, desde la perspectiva de diseño de productos, promueve la extensión de la vida útil de estos mediante la incorporación de medidas que mejoren su durabilidad, reutilizabilidad, actualizabilidad y/o reparabilidad. Además, propone a la categoría de aparatos eléctricos y electrónicos (AEE) 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 que genera.

El objetivo principal de esta comunicación es analizar la mejor estrategia de fin de vida, tanto desde el punto de vista ambiental como económico de un aparato eléctrico y electrónico para dotar al usuario de la información necesaria sobre el impacto de las decisiones tomadas en el caso de que su aparato se estropee. Especialmente, esta metodología sirve para poder seleccionar la mejor alternativa entre sustitución o reparación visto desde el punto de vista ambiental y económico. Para ello, se aplicará la metodología de Análisis de Ciclo de Vida (ACV) (UNE-EN ISO 14040 2006) y Coste del Ciclo de Vida (CCV) (Swarr et al. 2011) con el fin de obtener indicadores ambientales y económicos de cada escenario aplicado a la subcategoría de pequeño aparato eléctrico y electrónico (PAEE): hervidores de agua domésticos (*kettle*).

Son escasos los estudios centrados en analizar, desde la perspectiva ambiental, alternativas de fin de vida que mejoren la circularidad de los PAEE (Pérez-Belis et al., 2017, Bovea et al., 2020 o Paminger et al., 2021). Sin embargo, ninguno de ellos analiza la categoría de hervidores de agua domésticos ni integra conjuntamente el aspecto ambiental y el económico.

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, la modificación de la vida útil estimada del aparato, ni combinan el efecto que ello tiene sobre el desempeño económico y ambiental conjuntamente.

Para poder identificar la mejor alternativa de final de vida (sustitución o reparación) desde la perspectiva ambiental y económica, a continuación se detallan los pasos seguidos aplicados al caso de los hervidores de agua en España.

## 2 Definición de escenarios

En primer lugar, se proponen distintos escenarios ( $E_{xyz}$ ) basados en la combinación de los siguientes parámetros, mostrados en la Figura 1:

- Vida útil estimada del hervidor ( $x$ ). A partir de la información de Gallego-Schmid et al. (2018), EC (2020) y EC (2014), se propone considerar una vida útil estimada de 4, 6 u 8 años, respectivamente.

- Año en el que se produce el fallo (y). Se estima que el fallo puede producirse en cualquier momento durante la vida útil estimada del aparato. Se supone el fallo año a año.
- Alternativa de fin de vida (z). Se proponen dos alternativas de fin de vida tras el fallo del hervidor:
  - Sustitución: reemplazar el hervidor cuando éste deja de funcionar por uno nuevo equivalente, con la misma vida útil estimada y consumo. (z = S)
  - Reparación: reparar y continuar utilizando el hervidor hasta el final de su vida útil estimada. Dado que el fallo del hervidor se puede dar por diferentes causas, se han considerado los siguientes modos de fallos con su correspondiente probabilidad de éxito, información obtenida de bases de datos como Anstiftung, RepairCafé, Restart u Open Repair (Open Repair Alliance, 2021):
    - . Fallo de la base. Este fallo ocurre en el 3.53% de las veces que falla un hervidor, teniendo la reparación una probabilidad de éxito del 62.5% de las veces. Se asume la sustitución de la base por su correspondiente pieza de repuesto, sin operación de reparación. (z = R1)
    - . Fallo del botón interruptor de encendido/apagado. Este fallo sucede en el 26.70% de las veces que falla un hervidor, teniendo la reparación una probabilidad de éxito del 72%. Se asume la reparación manual por parte del usuario mediante el desmontaje de parte del hervidor, posicionamiento del botón en el sitio correcto y montaje de nuevo, sin requerir llevarlo al servicio técnico o equivalente. (z = R2)
    - . Fallo por incorrecto mantenimiento, lo que provoca acumulación de cal en el contenedor de agua del hervidor. Si bien sólo sucede en un 7.05% de las veces que falla un hervidor, la eficacia de realizar un buen mantenimiento supone una probabilidad de éxito del 96.2%. Se asume que la reparación consiste en descalcificar el contenedor de agua para eliminar la cal acumulada. (z = R3)

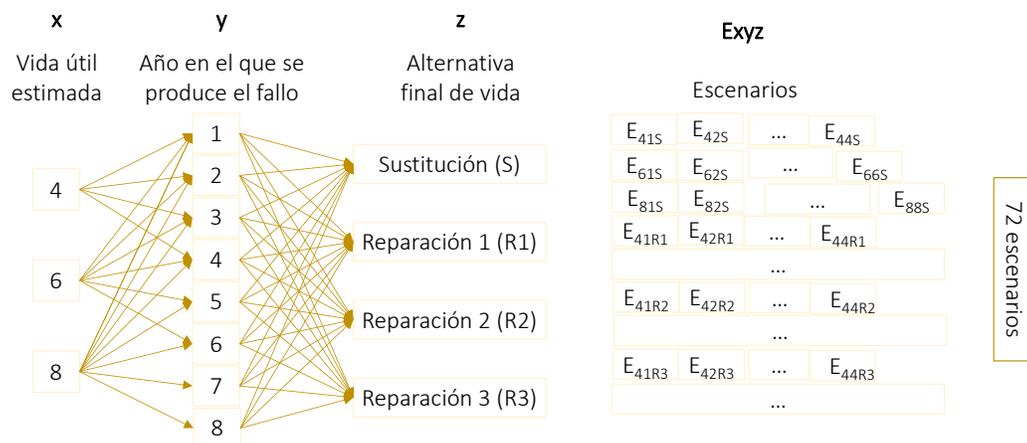


Figura 1: Definición de los escenarios

### 3 Evaluación ambiental y económica

El objetivo de este paso es calcular los impactos ambientales y económicos de cada uno de los 72 escenarios, mediante la aplicación de las metodologías ACV y CCV, respectivamente.

En ambos estudios, el alcance del análisis incluye la extracción de materias primas, transporte de las mismas hasta la planta de producción (100 km) y producción en China. Su distribución hasta España, que se realiza en barco transoceánico (12000 km) y camión de 16-32t (75 km), un uso promedio anual de 208 litros de

agua hervida, y el fin de vida, que considera su tratamiento en planta de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos y la valorización de los materiales plásticos y férricos como materia prima secundaria. Como cargas evitadas, se consideran las materias secundarias producidas y la parte proporcional del hervidor que deja de adquirirse en los escenarios de reparación. Queda fuera del alcance del estudio la infraestructura y el impacto asociado al vertido de las fracciones no valorizadas.

Para configurar los modelos de inventario, se han utilizado datos primarios obtenidos del desmontaje y caracterización del hervidor y datos secundarios de la base de datos Ecoinvent (2020) para el ambiental, y datos de precios de mercado de materiales, componentes, piezas de repuesto, etc. para el económico.

Respecto a la etapa de evaluación del impacto, se ha seleccionado la categoría de impacto “calentamiento global” y el método de evaluación del impacto CML (CML, 2016) mediante el software SimaPro 8.3 (PRÉ Consultants, 2018). La evaluación del impacto económico se ha tenido en cuenta desde la perspectiva del consumidor, incluyendo el precio de venta al público del hervidor y de sus piezas de recambio (que incluye la tasa de tratamiento de fin de vida del hervidor) y el hecho de reparación gratuita los dos primeros años que dura la garantía.

Para cada escenario, el impacto ambiental e impacto económico se han calculado aplicando las siguientes ecuaciones:

Escenarios de sustitución del hervidor ( $E_{xyS}$ ):

$$I_{xyS} = [I_{MP} + I_D + I_U * X + I_{FV} + \frac{(I_{MP} + I_D + I_{FV})}{X} * (X - Y)] \quad (1)$$

Escenarios de reparación del hervidor ( $E_{xyR1/R2/R3}$ ):

$$I_{xyRi} = [I_{MP} + I_D + I_U * X + I_{FV} - \frac{(I_{MP} + I_D + I_{FV})}{X} * (X - Y) + I_{Ri}] * t_{\text{éxito}} + [I_{MP} + I_D + I_U * X + I_{FV} + \frac{(I_{MP} + I_D + I_{FV})}{X} * (X - Y) + I_{Ri}] * (1 - t_{\text{éxito}}) \quad (2)$$

donde:

<p><math>I</math> = impacto ambiental/económico.</p> <p><math>x</math> = años de vida útil estimada, que toma valores de 4, 6 y 8.</p> <p><math>y</math> = año en que se produce el fallo, que toma valores de 1, 2, 3, ... <math>x</math>.</p> <p><math>z</math> = alternativa de fin de vida, que toma valores de S (sustitución), R1 (cambio de la base), R2 (reparación del botón) y R3 (descalcificación)</p> <p><math>t_{\text{éxito}}</math>: tasa de éxito de la reparación, que toma valor 0.625, 0.72 y 0.962 para R1, R2 y R3, respectivamente.</p>	<p>MP: Materia prima y Producción</p> <p>D: Distribución</p> <p>U: Uso anual</p> <p>FV: Fin de vida</p>
--	---

#### 4 Comparativa de escenarios

Para cada uno de los 72 escenarios descritos, se ha calculado el impacto ambiental y económico con el fin de poder valorar, en función del año en que se produce la rotura y los años de vida media estimada, si es mejor sustituir el hervidor por uno nuevo o si es mejor repararlo. Para ello, se comparan los impactos de los siguientes escenarios  $E_{xyR1/R2/R3} - E_{xyS}$ :

- Si el impacto de reparar el hervidor > impacto de sustituir el hervidor → se debe sustituir.  
Es decir, si  $E_{xyR1/R2/R3} - E_{xyS} > 0$  → se debe sustituir.
- Si el impacto de reparar el hervidor < impacto de sustituir el hervidor → se debe intentar reparar.  
Es decir, si  $E_{xyR1/R2/R3} - E_{xyS} < 0$  → se debe intentar reparar.

Los resultados obtenidos se muestran en la Tabla 1, donde para cada tipo de fallo (R1, R2, R3), año en el que se te rompa (y) y años de vida útil estimada (x) se indica si es mejor sustituir (S), reparar (R) o si el impacto es el mismo en ambas alternativas (S-R). La parte superior izquierda de cada celda indica la mejor alternativa considerando el impacto ambiental (calentamiento global) y la parte inferior derecha considerando el impacto económico (coste para el usuario) para cada uno de los escenarios.

**Tabla 1. Impacto ambiental - Calentamiento global**

		y = 1	y = 2	y = 3	y = 4	y = 5	y = 6	y = 7	y = 8	
R1 vs S	$E_{4yR1} - E_{4yS}$	R/S-R	R/S-R	R/R	S/S	-	-	-	-	z = 4 años
	$E_{6yR1} - E_{6yS}$	R/S-R	R/S-R	R/R	R/R	S/S	S/S	-	-	z = 6 años
	$E_{8yR1} - E_{8yS}$	R/S-R	R/S-R	R/R	R/R	R/R	R/R	S/S	S/S	z = 8 años
R2 vs S	$E_{4yR2} - E_{4yS}$	R/S-R	R/S-R	R/R	S-R/S-R	-	-	-	-	z = 4 años
	$E_{6yR2} - E_{6yS}$	R/S-R	R/S-R	R/R	R/R	R/R	S-R/S-R	-	-	z = 6 años
	$E_{8yR2} - E_{8yS}$	R/S-R	R/S-R	R/R	R/R	R/R	R/R	R/R	S-R/S-R	z = 8 años
R3 vs S	$E_{4yR3} - E_{4yS}$	R/S-R	R/S-R	R/R	S/S	-	-	-	-	z = 4 años
	$E_{6yR3} - E_{6yS}$	R/S-R	R/S-R	R/R	R/R	R/R	S/S	-	-	z = 6 años
	$E_{8yR3} - E_{8yS}$	R/S-R	R/S-R	R/R	R/R	R/R	R/R	R/R	S/S	z = 8 años

Tal y como se observa en la Tabla 1, en general, para todos los años de vida del hervidor excepto para el último, el impacto de reparar el hervidor es menor que el de sustituirlo por uno nuevo. Por el contrario, desde el punto de vista económico, los dos primeros años el coste es cero para el usuario, tanto si decide sustituirlo o repararlo, debido a que está en el periodo de garantía.

Analizando el escenario R1 (sustitución de la base), se observa que, si bien la base lleva incorporado el cable, el impacto de sustituir la base solo, aún con su porcentaje de éxito, tiene mejor comportamiento ambiental que sustituir todo el hervidor para los primeros años de vida. Cuando la vida media estimada es de 6 y 8 años, sin embargo, el impacto de sustituir todo el hervidor es menor en los últimos dos años de vida. Los impactos económicos están alineados con los ambientales, puesto que el precio de la base es aproximadamente un tercio del precio total del hervidor.

Para los escenarios R2, reparación del botón de encendido, dado que no hay coste económico de llevar a cabo esta tarea, solo compensa el hecho de sustituirlo el último año de vida tanto económica como ambientalmente, siendo en estos casos que se igualan las cargas ambientales y económicas de intentar repararlo que de sustituirlo por uno nuevo.

Si se produce un fallo por acumulación de cal y se efectúa un mantenimiento a partir de ese momento, los escenarios R3, al igual que pasaba con los R2, el coste es mínimo respecto a la compra de uno nuevo, por lo que salvo en el último año donde se igualan los impactos de sustituir el hervidor y de repararlo, siempre es mejor repararlo tanto desde el punto de vista ambiental como económico (quitando los años de garantía).

## 5 Conclusiones

Se han planteado 72 escenarios alternativos que permiten comparar los impactos ambientales y económicos asociados a distintos tipos de fallo de los PAEE, aplicado al caso de estudio de los hervidores

de agua. Estos resultados permiten dar a conocer a los compradores y usuarios la información relativa a los impactos ambientales y económicos que sus decisiones y acciones ocasionan.

En conclusión, se puede afirmar que la mejor manera de proceder es intentar reparar el hervidor pues las tasas de éxito son muy elevadas. Por otro lado, el hecho de que el usuario decida durante los años de garantía sustituir su hervidor por otro nuevo, no debería suponer un aumento de las cargas ambientales, pues las nuevas normativas se enfocan a mejorar la reparabilidad de los AEE, lo que podría suponer que el fabricante solucionase el fallo y volviese a poner el aparato otra vez en el mercado en lugar de llevarlo para su tratamiento de final de vida.

## Agradecimientos

Este estudio se ha realizado gracias a la financiación de la Generalitat Valenciana (GV/2020/172 y ACIF/2020/334).

## 6 Referencias

- 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, 109679.
- CML (2016) <https://www.universiteitleiden.nl/>
- 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.
- EC (2014) Preparatory study to establish the Ecodesign Working Plan 2015-2017. European Commission.
- EC (2020) Preparatory study for kettles implementing the Ecodesign Working Plan. European Commission.
- Ecoinvent (2020) <https://www.ecoinvent.org/>
- Ellen McArthur Foundation (2013). Towards a circular economy. The Ellen MacArthur Foundation.
- 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.
- Open Repair Alliance (2021) <https://openrepair.org/>. 2<sup>nd</sup> Collection of open repair data.
- 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.
- Pérez-Belis, V., Bakker, C., Juan, P. & Bovea, M.D. (2017) 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.
- PRé Consultants, 2018 - SimaPro 8.3 (2018) <http://www.pre.nl/simapro>
- Swarr, T.E., Hunkeler, D., Klöpffer, W., Pesonen, H.L., Ciroth, A., Brent, A.C. & Pagan, R., (2011). Environmental life-cycle costing: A code of practice. *International Journal of Life Cycle Assessment* 16, 389-391.
- UNE-EN ISO 14040 2006. Gestión ambiental. Análisis del ciclo de vida. Principios y marco de referencia.