



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)

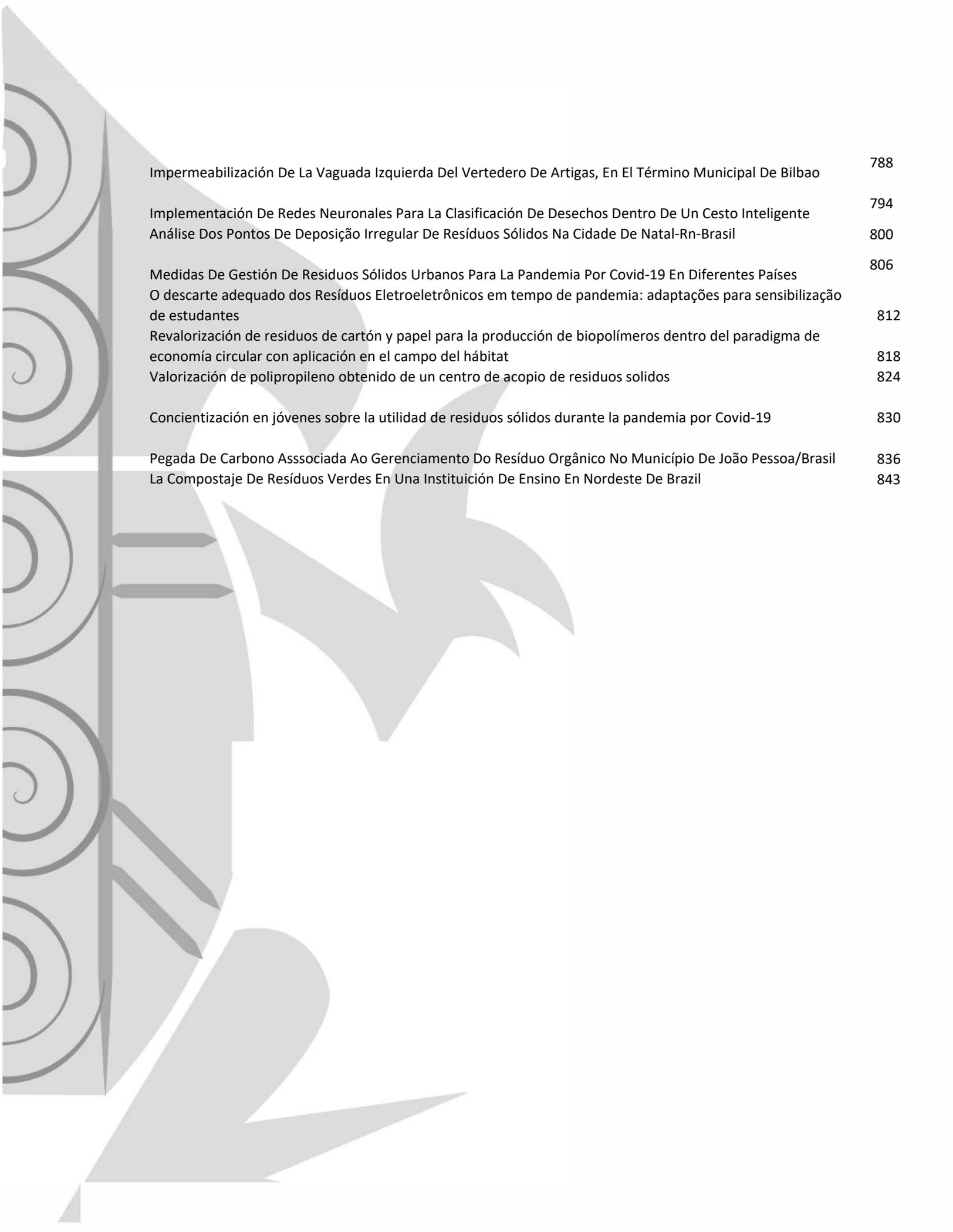
## ÍNDICE

<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



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

# **CARACTERIZACIÓN, MINIMIZACIÓN Y RECICLAJE DE RESIDUOS**



## ANÁLISIS DE INDICADORES DE CIRCULARIDAD APLICADOS A LA GESTIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS MUNICIPALES

Rondón Toro, Estefani<sup>1</sup>; Lobo García de Cortázar, Amaya<sup>1</sup>, Gallardo Izquierdo, Antonio<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Grupo de Ingeniería Ambiental, Departamento de Ciencias y Técnicas del Agua y del Medio Ambiente, Universidad de Cantabria, Av. De Los Castros, s/n 39005 Santander, España, [ert324@alumnos.unican.es](mailto:ert324@alumnos.unican.es), [amaya.lobo@unican.es](mailto:amaya.lobo@unican.es)

<sup>2</sup>Departamento de Ingeniería Mecánica y Construcción, Universidad Jaume I, Av. de Vicent Sos Baynat s/n, 12071 Castelló de la Plana, España, [gallardo@emc.uji.es](mailto:gallardo@emc.uji.es)

### Resumen

El presente trabajo realiza una revisión bibliográfica sobre cómo se incorpora el concepto de economía circular (EC) en la evaluación de los sistemas de gestión y tratamiento de los residuos sólidos municipales (RSM). A partir de un marco de referencia para medir la circularidad de productos y servicios, se analizan indicadores propuestos en la literatura que evalúan parámetros que participan parcialmente en la circularidad, como el rendimiento o la sostenibilidad de los sistemas de RSM. En este contexto, para establecer un indicador de circularidad, este debería al menos contemplar tres elementos: que permita la comparación a distintos niveles o escalas (regional, nacional, países); que se delimite con claridad lo que se quiere medir (funciones, productos, materiales y/o la energía incorporada en éstos); y que se establezca el alcance de la medición (si solamente sistemas y/o instalaciones, o que se considere todo el análisis del ciclo de vida de estos sistemas, con base en aspectos ambientales, económicos y sociales).

### Abstract

This paper carries out a bibliographic review on how the concept of circular economy (CE) is incorporated in the evaluation of the management of municipal solid waste (MSW) and treatment systems. Based on a reference framework to measure the circularity of products and services, indicators proposed in the literature are analyzed that evaluate parameters that partially participate in circularity, such as the performance or sustainability of MSW systems. In this context, to establish a circularity indicator, it should include at least three elements: that allows comparison at different levels or scales (regional, national, countries); that clearly delimited what is to be measured (functions, products, materials and / or the energy incorporated in them); and that the scope of the measurement is established (if only systems and / or facilities, or that the entire life cycle analysis of these systems be considered, based on environmental, economic and social aspects).

### Palabras clave/keywords:

*Residuos sólidos municipales, economía circular, indicadores, tratamiento, valorización, jerarquía de residuos / Municipal solid waste, circular economy, indicators, treatment, valorization, waste hierarchy.*

### 1. Introducción

La economía circular (EC) propone el cambio hacia una economía que aprovecha los recursos de manera eficiente, orientando a implementar una economía no lineal, basada en el principio de cerrar el ciclo de vida de los productos, y a que estos se mantengan en la economía el mayor tiempo posible, reduciendo al mínimo la generación de residuos (Fundación para la Economía Circular, 2017).

Memorias del IX Simposio Iberoamericano en Ingeniería de Residuos: hacia un mundo sin residuos  
20–24 de septiembre de 2021, Panamá.

La gestión de residuos desempeña un papel fundamental en la EC, siempre y cuando se ponga en práctica el “principio de jerarquía de residuos”, el cual obliga a tratar de evitar el desperdicio y, en los casos en que esto no sea posible, garantizar que los materiales que han sido desechados se recuperen para ser reutilizados, reciclados, o en último término, valorizados energéticamente (Lansink, 2018).

Para avanzar hacia un paradigma como el de la EC es fundamental plantear objetivos concretos y en términos evaluables a través de indicadores de distintos tipos. Los indicadores son herramientas que permiten sistematizar la medida y la evaluación del sistema, y por tanto también plasmar los objetivos de manera clara y objetiva. A pesar de que el concepto de EC se encuentra ya extendido y en aplicación en algunos países, no está muy claro todavía cómo medir la circularidad de algunos productos y servicios (EEA, 2016; Elia et al., 2017; EMF, 2015; Linder et al., 2017; Moraga et al., 2019).

Este trabajo analiza algunos parámetros que permiten medir la eficiencia de sistemas de gestión de residuos sólidos municipales (RSM) con el objetivo de identificar las características fundamentales que debería reunir un indicador de circularidad de estos sistemas.

## 2. Metodología

Como trabajo preliminar, fueron revisados los estudios de varios autores, donde se seleccionó el marco de referencia propuesto por Moraga et al., (2019) para delimitar el sistema, y con base en lo propuesto por estos autores, establecer cuáles son las características clave que debe tener un indicador que mida la circularidad en los sistemas y/o instalaciones para la gestión y tratamiento de los RSM. Se realizó una búsqueda bibliográfica de algunos de los indicadores ya propuestos en el marco de referencia mencionado, así como de otras referencias adicionales. Analizando cada trabajo, se identificaron variables clave. Con estas variables de base, se realiza una propuesta de cuáles deben ser las principales características que debe cumplir un indicador de circularidad, aplicable a sistemas de gestión y tratamiento de RSM.

### 2.1 Marco de referencia

Moraga et al. (2019) propusieron un marco de referencia para medir la EC clasificándola en estrategias y escalas de medición. Las estrategias son seis: 1) preservación de funciones; 2) productos; 3) componentes; 4) materiales; 5) energía incorporada y 6) referencia. Se consideran tres alcances de medición, desde el más básico, a nivel de ciclos tecnológicos (alcance 0), añadiendo después el Análisis de Ciclo de Vida (ACV) (alcance 1), y finalmente el más amplio que considera los efectos en los aspectos ambiental, económico y social (alcance 2).

Puesto que los sistemas para la gestión y tratamiento de los RSM vendrían a representar un proceso tecnológico, donde ingresan materiales (en este caso los RSM que han sido desechados por consumidores finales), que podrían ser valorizados (antes de su disposición final) a partir de la recuperación de materiales y/o de energía, y que eventualmente saldrían del sistema como sub-productos/energía, la medida de circularidad de las mismas debería centrarse en las estrategias de EC 4) y 5) y alcance 0.

### 2.2. Indicadores que miden la sostenibilidad de los sistemas de gestión y tratamiento de RSM

En el campo de los residuos, varios autores han propuesto indicadores para medir la sostenibilidad de los sistemas de gestión de RSM, considerando la recuperación de materiales y subproductos. Como una primera aproximación, se encuentran las tasas de reciclaje (RR), las cuales han sido extensamente usadas para medir la cantidad de materiales recuperados en un sistema. En este contexto, su uso y limitaciones han sido descritos en algunos estudios. Por ejemplo, Haupt et al. (2017), critican que, aunque las RR describen la cantidad de material finalmente recuperado del sistema de gestión de residuos, estas no dan

información sobre el material secundario que realmente se recupera. Así mismo, Pires & Martinho (2019) comentan que la tasa de reciclaje es un indicador segmentado, que requiere otros indicadores relacionados con otras operaciones de residuos. Este aspecto también se ha señalado en el Plan de acción de economía circular (Comisión Europea, 2015), el cual ha considerado abordar cuestiones clave relacionadas con el cálculo de las RR, para garantizar estadísticas comparables y de alta calidad en toda la Unión Europea (UE). Por esta razón, Pires & Martinho (2019) con una visión más global (desde la preparación para la reutilización, reciclaje, valorización y disposición final), proponen un Índice de Jerarquía de Residuos (WHI), como punto de partida para una discusión real sobre cómo las estadísticas de residuos deben ser manejadas para alcanzar una EC.

Kaufman et al. (2010) agregan que, aunque el reciclaje de muchos materiales es ciertamente preferible, la RR no es adecuada como medida de sostenibilidad general del sistema de gestión, porque no tiene en cuenta las diferencias entre el vertido y *Waste-to Energy*, ya que no considera materiales que no son reciclables (por ejemplo, muchos plásticos, madera contaminada, etc.). Así mismo, estos autores agregan que la RR máxima a obtener posiblemente estaría muy por debajo del 100%, por lo que, sin un máximo teórico, se vuelve casi imposible comparar diferentes sistemas entre sí, siendo difícil establecer objetivos para la gestión de residuos. En este sentido, los mismos autores propusieron un indicador llamado *Resource Conservation Efficiency* (RCE), basado en un enfoque de *screening-ACV*, desarrollado para la evaluación de la sustentabilidad ambiental de sistemas de gestión de RSM.

En la misma línea, Rigamonti et al. (2016) propusieron un indicador compuesto, constituido por tres indicadores individuales: dos de ellos evalúan la sostenibilidad ambiental del sistema, cuantificando los niveles de recuperación de materiales y energía, mientras que el tercero cuantifica los costos.

### 2.3. Características de los indicadores identificados

La Tabla 1 reúne los indicadores revisados en este trabajo. Del análisis de todos ellos, se han identificado las características que se recogen en las columnas. Cabe recalcar que, si bien algunas de las características quedan explícitamente descritas en la bibliografía, otras se deducen directamente de los trabajos consultados. A continuación, se describen cada una de ellas:

- Incorporación del concepto de EC: Este ítem refleja si la palabra ‘economía circular’ se encuentra explícitamente considerada en la descripción del indicador. La EC es un concepto ‘paraguas’ que incorpora diferentes significados (Moraga et al., 2019) y que tiene varios padres (jerarquía de residuos; ecología industrial; proyecto ‘basura cero’, entre otros) (Lansink, 2018), por lo que no se ha pretendido ahondar y/o comparar las referencias consultadas sobre su definición conceptual.
- Escala de implementación: Este ítem hace referencia a la extensión que abarca el indicador para realizar su evaluación, por lo que se han definido tres niveles: micro, meso y macro (Ghisellini et al., 2016; Moraga et al., 2019). La escala micro considera si el indicador evalúa solamente un producto individual, una compañía, y a nivel de consumidor. Para una compañía, el indicador evaluaría, por ejemplo, que esta lleve a cabo estrategias para mejorar la circularidad de su sistema de producción. A nivel del consumidor, evaluaría estrategias que permitan contribuir a los cambios de hábito (del linear a uno circular). La escala meso está referida al ámbito productivo, que involucra el desarrollo y puesta en marcha de parques eco-industriales, distritos y redes de simbiosis industrial, así como otras denominaciones de redes productivas afines. La escala macro se aplica en ciudades, provincias, regiones y países, contribuyendo a la integración y al re-diseño de los sistemas con los cuales interactúa.
- Niveles del Principio de Jerarquía de Residuos: El principio de jerarquía establece la estrategia de gestión de residuos, que determina que la prevención y el tratamiento de los residuos seguirá una jerarquía con el orden de prioridades siguiente: (A) prevención, (B) preparación para la

reutilización, (C) reciclado de materiales (que incluye el compostaje), (D) recuperación de energía, y como último eslabón, la (E) disposición final en rellenos sanitarios. Se define si el indicador considera uno o varios de estos niveles, ya sean que estén o no explícitamente contenidos en la referencia consultada.

- **Materiales:** Se definen como los residuos que ingresan al sistema considerado, ya sean RSM mezclados o separados (materiales reciclables, materia orgánica, u otros tipos).
- **Unidad de medida:** Define la unidad en la cual el indicador muestra sus resultados y aporta información extra sobre si se utiliza algún rango para definir estos resultados.

Tabla 1. Características principales de los indicadores identificados

Indicador	Incorporación del concepto de EC	Escala de implementación	Niveles del principio de jerarquía	Materiales	Unidad de medida
<b>CR</b> <i>Old crap collection rate [1]</i>	No	Micro	(C)	Metales ferrosos, no ferrosos, preciosos y especiales	Porcentaje (%)
<b>RR</b> <i>Recycling process efficiency rate [1]</i>	No	Micro	(C)		
<b>EOL-RR</b> <i>End-of-lyfe recycling rate [1]</i>	No	Micro	(C)	Metales ferrosos, no ferrosos, preciosos y especiales	Porcentaje (%)
<b>OSR</b> <i>Old Scrap Ratio [1]</i>	No	Micro	(C)*		
<b>WHI</b> <i>Waste Hierarchy Indicator [2]</i>	Si	Macro	(B), (C), (D) y (E)	Fracciones separadas o mezcladas de RSM	Porcentaje (%) Varía desde -100 a 100%
<b>RCE</b> <i>Resource Conservation Efficiency [3]</i>	No	Micro Macro	(C), (D) y (E)		Porcentaje (%)
<b>MRI</b> <i>Material Recovery Indicator [4]</i>	No	Micro Macro	(C)		Índice Rango 0 a 1
<b>ERI</b> <i>Energy Recovery Indicator [4]</i>	No	Micro Macro	(D)	Rechazos de la clasificación y pre-tratamiento de fracciones de RSM	

\* Considera etapa previa a la gestión: Manufactura del Material.

[1] (Graedel et al., 2011); [2] (Pires et al., 2011); [3] (Kaufman et al., 2010); [4] (Rigamonti et al., 2016)

#### 4. Discusión

Con base en lo presentado en la Tabla 1, solo el Pires & Martinho (2019) (en este caso el WHI) nombran el concepto de EC explícitamente como parte de las características u objetivos del estudio. No obstante, los indicadores presentados por Graedel et al. (2011) (el CR, RR, EOL-RR y OSR), Kaufman et al. (2010) (el RCE) y Rigamonti et al. (2016) (el MRI y ERI) utilizan conceptos como estrategia de sustentabilidad y sustentabilidad ambiental respectivamente, para reflejar que sus indicadores abarcan una dimensión más amplia que la meramente técnica. No obstante, como señalan Schöggel et al. (2020), EC y sustentabilidad están estrechamente relacionadas entre sí.

En cuanto a la escala de implementación, los indicadores estudiados se centran solo en dos de las tres escalas definidas: las escalas micro y macro. El CR, RR, EOL-RR y OSR, centran su evaluación en materiales individuales (en este caso, los metales), y por tanto su escala de evaluación es la micro. Por su parte, el RCE, MRI y ERI estarían considerando dos escalas, la micro y macro, ya que permiten evaluar instalaciones individuales, y agregar la información extraída de varias instalaciones para una evaluación a nivel local, regional y hasta nacional. El WHI, por su parte, se centra solo en el nivel macro, ya que considera cantidades totales de materiales tratados a nivel local y nacional, permitiendo una evaluación holística del sistema de gestión de residuos.

En cuanto a si cada indicador contempla el principio de jerarquía, solo Pires & Martinho (2019) (el WHI) lo mencionan en sus características u objetivos de forma explícita. Estos autores además consideran la mayor cantidad de niveles jerárquicos, desde la preparación para la reutilización, hasta la disposición final. Por otro lado, los indicadores CR, RR, EOL-RR, OSR, WHI, RCE y MRI coinciden al considerar el nivel (C) reciclaje, contemplando la recuperación de materiales como eje para una eficiente valorización. Para el caso del ERI, este centra su evaluación solamente en el tratamiento y la valorización de los rechazos provenientes de las plantas de tratamiento, contribuyendo a la disminución de la disposición final en rellenos sanitarios. Finalmente, el WHI y el RCE abarcan varios niveles jerárquicos en su evaluación, lo que amplía su campo de aplicación.

En lo que respecta a los materiales, los indicadores CR, RR, EOL-RR y OSR, consideran en su evaluación distintos tipos de metales: ferrosos, no ferrosos, preciosos y especiales. Por su parte, el WHI, RCE y MRI, que evalúan sistemas más complejos de gestión, considerando todos los RSM, ya sea a partir de fracciones mezcladas o separadas. Finalmente, el ERI considera solo la fracción de rechazos, puesto que el sistema que evalúa tiene como objetivo la producción de energía a partir de estos rechazos.

Las unidades de medición que usan los indicadores como el CR, RR, EOL-RR, OSR y RCE se expresan en porcentajes, dando información acerca de la cantidad de materiales recuperados con respecto a la cantidad que ingresa al sistema. Los valores del WHI varían entre -100% y 100%. Un WHI de -100% refleja que la jerarquía de residuos no se está implementando de una manera que pueda promover una EC (con operaciones como la incineración y la disposición final), mientras que un WHI de 100% representa el caso contrario, cuando todos los RSM se envían exclusivamente a operaciones de EC, dándole prioridad a aquellos materiales que tienen como destino el reciclaje (*up-cycling*), compostaje, digestión anaerobia, etc., ingresando de nuevo al sistema como recursos. Por su parte, el MRI y ERI son medidos a partir de un índice de 0 a 1, siendo 1 si todos los residuos que ingresan al sistema se recuperan como material con una eficiencia del 100%.

#### 5. Conclusiones

A partir de una comparativa entre varios indicadores postulados en la bibliografía consultada, y utilizando un marco de referencia de EC como base, los resultados del estudio muestran que, aunque la EC y la gestión de residuos se relacionan entre sí, los elementos que se consideran dentro de este marco, no se

encuentran presentados de forma explícita en los indicadores de RSM revisados. Con base en lo anteriormente mencionado, para que el indicador a establecer esté alineado al concepto de EC, este debería ser fácilmente aplicable y permitir la comparación a distintas escalas (entre instalaciones, situadas a niveles regionales o a nivel de países), delimitando con claridad lo que se quiere medir (funciones, productos, materiales y/o la energía incorporada en éstos), y estableciendo el alcance que tendría esta medición (si abarca solamente ciclos tecnológicos o todo el ciclo de vida).

## 5. Referencias

- Comisión Europea. (2015). *COMUNICACIÓN DE LA COMISIÓN AL PARLAMENTO EUROPEO, AL CONSEJO, AL COMITÉ ECONÓMICO Y SOCIAL EUROPEO Y AL COMITÉ DE LAS REGIONES. Cerrar el círculo: un plan de acción de la UE para la economía circular*. [https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:8a8ef5e8-99a0-11e5-b3b7-01aa75ed71a1.0011.02/DOC\\_1&format=PDF](https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:8a8ef5e8-99a0-11e5-b3b7-01aa75ed71a1.0011.02/DOC_1&format=PDF)
- EEA. (2016). *Circular economy in Europe. Developing the knowledge base*.
- Elia, V., Gnoni, M. G., & Tornese, F. (2017). Measuring circular economy strategies through index methods: A critical analysis. *Journal of Cleaner Production*, 142, 2741–2751. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.10.196>
- EMF. (2015). *Circularity indicators. An approach to measuring circularity. Methodology*. <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/resources/apply/material-circularity-indicator>
- Fundación para la Economía Circular. (2017). *Economía Circular | economiacircular.org*. [http://economiacircular.org/wp/?page\\_id=62](http://economiacircular.org/wp/?page_id=62)
- Ghisellini, P., Cialani, C., & Ulgiati, S. (2016). A review on circular economy: the expected transition to a balanced interplay of environmental and economic systems. *Journal of Cleaner Production*, 114, 11–32. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.09.007>
- Graedel, T. E., Allwood, J., Birat, J.-P., Buchert, M., Hagelüken, C., Reck, B. K., Sibley, S. F., & Sonnemann, G. (2011). What Do We Know About Metal Recycling Rates? *Journal of Industrial Ecology*, 15(3), 355–366. <https://doi.org/10.1111/j.1530-9290.2011.00342.x>
- Haupt, M., Vadenbo, C., & Hellweg, S. (2017). Do We Have the Right Performance Indicators for the Circular Economy?: Insight into the Swiss Waste Management System. *Journal of Industrial Ecology*, 21(3), 615–627. <https://doi.org/10.1111/jiec.12506>
- Kaufman, S. M., Krishnan, N., & Themelis, N. J. (2010). A Screening Life Cycle Metric to Benchmark the Environmental Sustainability of Waste Management Systems. *Environmental Science & Technology*, 44(15), 5949–5955. <https://doi.org/10.1021/es100505u>
- Lansink, A. (2018). Challenging Changes – Connecting Waste Hierarchy and Circular Economy. *Waste Management & Research*, 36(10), 872–872. <https://doi.org/10.1177/0734242X18795600>
- Linder, M., Sarasini, S., & van Loon, P. (2017). A Metric for Quantifying Product-Level Circularity. *Journal of Industrial Ecology*, 21(3), 545–558. <https://doi.org/10.1111/jiec.12552>
- Moraga, G., Huysveld, S., Mathieux, F., Blengini, G. A., Alaerts, L., Van Acker, K., de Meester, S., & Dewulf, J. (2019). Circular economy indicators: What do they measure? *Resources, Conservation and Recycling*, 146, 452–461. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2019.03.045>
- Pires, A., & Martinho, G. (2019). Waste hierarchy index for circular economy in waste management. *Waste Management*, 95, 298–305. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2019.06.014>

- Pires, A., Martinho, G., & Chang, N.-B. (2011). Solid waste management in European countries: a review of systems analysis techniques. *Journal of Environmental Management*, *92*(4), 1033–1050. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2010.11.024>
- Rigamonti, L., Sterpi, I., & Grosso, M. (2016). Integrated municipal waste management systems: An indicator to assess their environmental and economic sustainability. *Ecological Indicators*, *60*, 1–7. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2015.06.022>
- Schögl, J.-P., Stumpf, L., & Baumgartner, R. J. (2020). The narrative of sustainability and circular economy - A longitudinal review of two decades of research. *Resources, Conservation and Recycling*, *163*, 105073. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2020.105073>