



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)

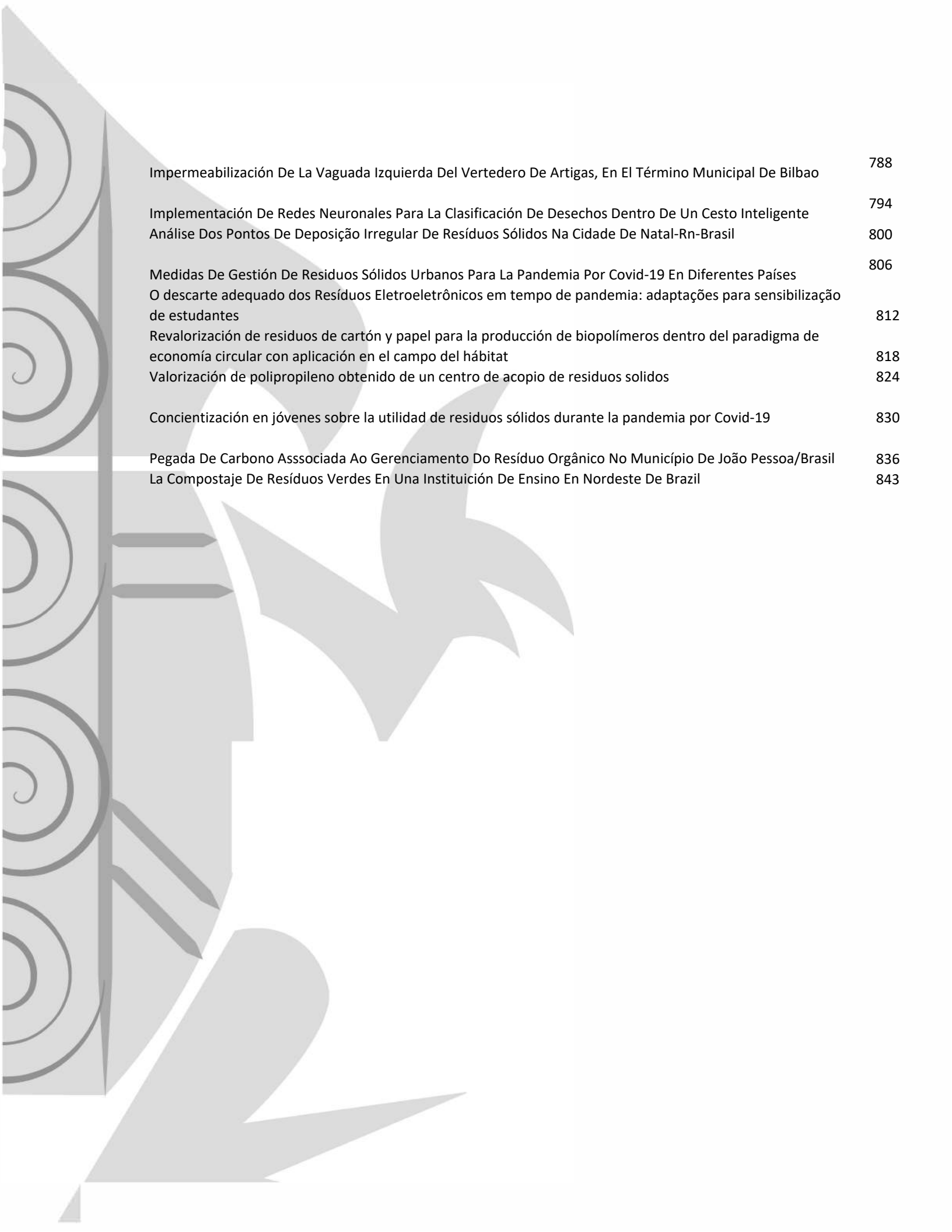
ÍNDICE

Caracterización, minimización y reciclaje de residuos	1
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
Caracterización de Residuos y tratamiento	166
Análisis De La Producción De Compost A Través Del Uso De Biosólidos Y Materiales De Origen Orgánico	167
Contaminación Marina	173
Análisis del estado actual de la contaminación marina en el Golfo de California	174
Educación en residuos sólidos	180
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
Gestión de residuos y política ambiental	235
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
Impacto y riesgo ambiental	453
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
Relleno Sanitarios y Vertederos	503
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
Software aplicado a la gestión de residuos	535
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

Tratamiento biológico de residuos	563
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
Valorización de residuos sólidos y recuperación de energía	600
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
Trabajos Tipo Posters	724
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



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

Puerta-León, Anna¹; Ibáñez-Forés, Valeria¹; Bovea, María D.¹

¹ Departamento de Ingeniería Mecánica y Construcción, Universitat Jaume I, Castellón, España
vibanez@uji.es, bovea@uji.es

Resumen

En el marco del cumplimiento de los objetivos ambientales y de desarrollo sostenible definidos en la Estrategia Europa 2020 del Consejo Europeo y la Agenda 2030 de Naciones Unidas, la Unión Europea ha impuesto, en los últimos años, un endurecimiento de los objetivos de valorización de residuos de origen domiciliario para los diferentes Estados Miembros. En el caso de España, estos objetivos se han ido plasmando en el Plan Estatal Marco de Gestión de Residuos (2016-2022), que establece los objetivos de recuperación a cumplir por los Sistemas de Gestión de Residuos en 2020, 2025, 2030 y 2035.

Tomando como caso de estudio el sistema de gestión de residuos domiciliarios en el municipio de Castelló de la Plana (España), el objetivo de este estudio es analizar cómo ha evolucionado en la última década el sistema de gestión de residuos domiciliarios del municipio y valorar el grado de cumplimiento, así como la tendencia futura, de los objetivos de recuperación propuestos por la normativa para 2020, 2025, 2030 y 2035. Así mismo, mediante la aplicación de la metodología de Análisis del Ciclo de Vida, se cuantificará la evolución del impacto ambiental durante esta última década.

Abstract

In the framework of compliance with the environmental and sustainable development goals defined in the Europe 2020 Strategy of the European Council and the Agenda 2030 of the United Nations, the European Union has proposed a tightening of the municipal waste recovery goals for the Member States. In the case of Spain, these goals have been reflected in the State Waste Management Framework Plan (2016-2022), which establishes the waste recovery goals to be achieved by the Waste Management Systems in 2020, 2025, 2030 and 2035.

Taking the municipality of Castelló de la Plana (Spain) as a case study, the aim of this study is to analyze how its municipal waste management system has evolved in the last decade and to assess the degree of compliance, as well as the future trend, of the waste recovery goals proposed by the regulations for 2020, 2025, 2030 and 2035. Likewise, through the application of the Life Cycle Analysis methodology, the evolution of the environmental impact will be also quantified in the last decade.

Palabras clave/keywords:

Waste management system; Life Cycle Analysis; environmental impact; waste recovery goals; Spain; LCA.

1. Introducción

La generación de residuos es uno de los retos ambientales más complejos a los que se enfrentan las sociedades modernas. La cantidad de residuos generados a nivel global es cada vez mayor, mientras que disminuye la capacidad del planeta para asimilarlos. En Europa, la Directiva 2008/98/CE y su más reciente actualización (Directiva (UE) 2018/851/CE) promueven la consideración del residuo como un recurso para incorporarlo al sistema productivo, además de objetivos de valorización cada vez más exigentes para las diferentes fracciones de residuos.

En España, el marco legislativo en materia de residuos está regulado por Ley 22/2011 de Residuos y Suelos Contaminados, modificada por la Ley 5/2013, aunque existe actualmente un borrador de Ley para adaptarla a los cambios propuestos por la Directiva 2018/851/CE. El actual marco normativo obliga al Estado a la elaboración de planes de gestión y, a las comunidades autónomas, a incentivar la mejora de la gestión de residuos urbanos. Consecuentemente, en noviembre de 2015 se aprobó el Plan Estatal Marco de Gestión de Residuos 2016-2022 (PEMAR, 2015) a nivel nacional, y el Plan Integral de Residuos (PIRCV, 2019) a nivel autonómico en la Comunidad Valenciana.

Castelló de la Plana (España) ha ido introduciendo mejoras en el sistema de gestión de residuos (SGR) a lo largo de la última década. El objetivo principal de este trabajo es realizar una aproximación a la evaluación ambiental del sistema de gestión de los residuos sólidos urbanos o domésticos (RSU) en esta localidad, mediante el análisis del ciclo de vida del sistema, desde su generación hasta su disposición final en vertederos. La intención es identificar qué cambios se han introducido en el SGR desde el año 2009, y cómo han impactado en el comportamiento ambiental global del conjunto. Además, se pretende comprobar el grado de cumplimiento de los objetivos legales impuestos por la legislación europea, y las derivadas normativas nacionales y autonómicas, relativas a los residuos, para lo que se propondrán indicadores de desempeño aplicables a otros municipios de la región.

2. Metodología

La metodología aplicada en este estudio se muestra en la Figura 1 y se describe a continuación:

- **Etapa 1.** Recogida de información relativa a la generación y las características del sistema de gestión de residuos del municipio bajo estudio (Castelló de la Plana), para los años 2009 y 2019. Para ello, se contacta con las empresas implicadas en cada etapa del SGR y se les realiza una entrevista guiada con el fin de rellenar un cuestionario adaptado a las características de su organización, de donde obtener los datos primarios necesarios. Finalmente, se completa la información que falta con datos secundarios publicados de manera oficial, tanto por las empresas implicadas como por organismos públicos.
- **Etapa 2.** Revisión de la normativa relativa a la manipulación y tratamiento de residuos urbanos a nivel europeo, nacional y autonómico y propuesta de indicadores de desempeño, a partir de los objetivos normativos identificados. A partir de los datos recogidos en la Etapa 1, cálculo de los indicadores de desempeño para el escenario actual bajo estudio (Castelló de la Plana, 2019).
- **Etapa 3.** Aplicación de la metodología de Análisis del Ciclo de vida (ACV) según la norma ISO 14040-44 (2006) con el fin de obtener indicadores ambientales que caractericen ambientalmente el SGR en 2009 y 2019. Identificación de la tendencia en la contribución al impacto realizada a lo largo de la última década.

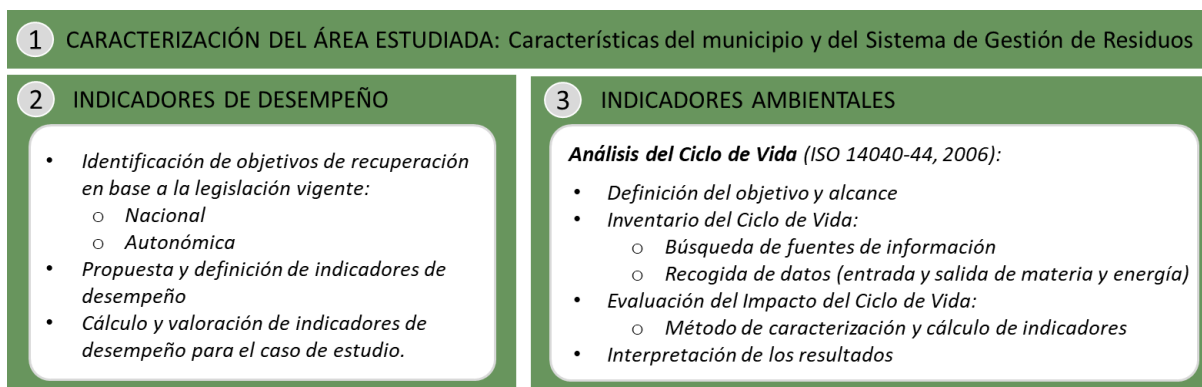


Figura 1. Metodología.

3. Descripción de la zona de estudio

Castelló de la Plana es la capital de la provincia de Castellón (Comunidad Valenciana, España), cuenta con una superficie de 107,5 km² y una población de 171.728 habitantes en 2019. Esta ciudad se localiza en la costa mediterránea de la península ibérica, siendo la temperatura media anual de unos 17,5 °C y la precipitación anual de unos 406 mm. Actualmente, en la ciudad se generan más de 80.000 t de RSU al año.

Tal y como se muestra en la Figura 2, los RSU generados se recogen, o bien de forma selectiva, si han sido separados en origen, o bien en masa. Los residuos recogidos selectivamente se destinan a sus respectivas plantas de clasificación, donde se clasifican según sus propiedades y separan de cualquier material impropio, para favorecer su posterior reciclado. La fracción resto es recogida en masa y compactada en una estación de transferencia para la optimización del transporte hasta la planta de recuperación de materiales (PRM). En ella, se separan los materiales valorizables para destinarlos a plantas de reciclaje o compostaje. El resto de materiales no clasificados para su posterior valorización, se derivan al vertedero, donde el biogás generado se quema sin aprovechamiento energético.

La Figura 2 incluye todos los flujos de residuos generados a lo largo del SGR de Castelló de la Plana en 2009 y 2019. Estos datos combinan datos primarios, procedentes de las empresas que gestionan el SGR de la ciudad, con datos secundarios extraídos del Instituto Nacional de Estadística (INE, 2020) de España.

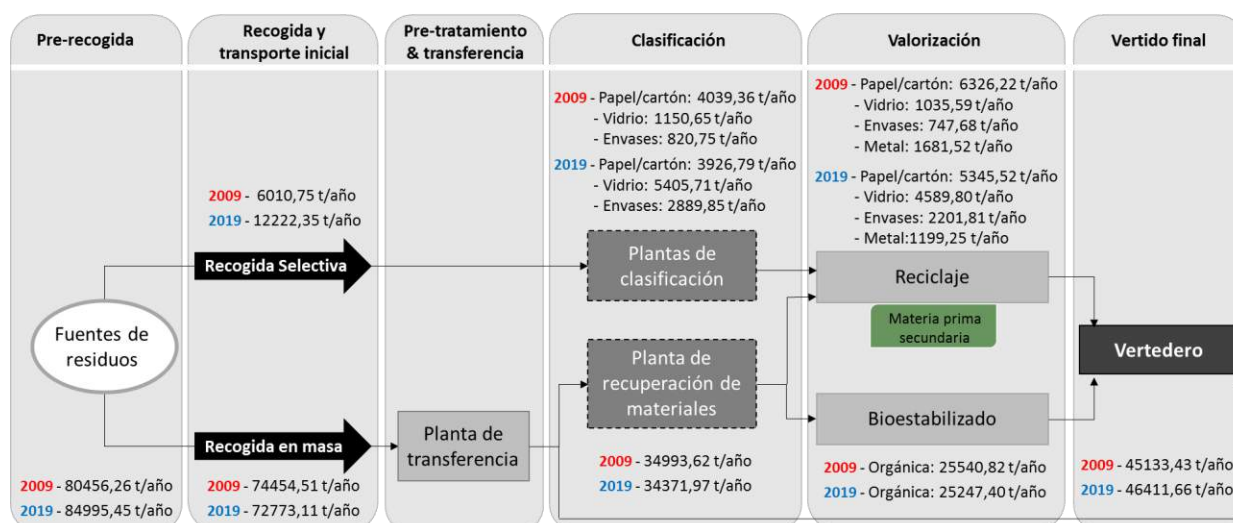


Figura 2. Sistema de Gestión de Residuos de Castelló de la Plana. Fuente: adaptado de INE (2019)

4. Resultados

4.1. Indicadores de desempeño

Tras revisar la normativa vigente que regula la gestión y el tratamiento de los residuos en España (PEMAR, 2015) y en la Comunidad Valenciana (PIRCV, 2019) se proponen 5 indicadores de desempeño para cuantificar el nivel de cumplimiento de los requisitos legislativos exigidos (ver Tabla 1). Hay que tener en cuenta que un indicador puede tener uno o varios objetivos, dependiendo de si el requisito legislativo a nivel nacional y/o autonómico difiere.

La última columna de la Tabla 1 muestra el valor que toman los indicadores propuestos en el año 2019 (escenario propuesto). Dichos indicadores se han calculado a partir de los flujos de residuos del SGR de Castelló de la Plana, mostrados en la Figura 2.

Tabla 1. Propuesta de indicadores y valores alcanzados en 2019.

INDICADOR	OBJETIVO (LEGISLACIÓN)	DESCRIPCIÓN	2019
1. Generación de residuos	1. Tasa de generación <i>PEMAR (2016-2022)</i>	Reducción de residuos generados respecto al año 2010 del 10%	↑5,4 %
2. Cantidad de residuos reciclados	2a. %RSU reciclados (relativos) <i>PEMAR (2016-2022)</i>	El 50% de los residuos reciclables generados, deberán ser reciclados	45,40 %
	2b. %RSU reciclados (relativos) <i>PIRCV (2016-2022)</i>	El 65% de los residuos reciclables generados, deberán ser reciclados	45,40 %
3. Porcentaje de reciclados	3. Cantidad relativa de reciclado de envases <i>PEMAR (2016-2022)</i>	Envases 50 %	37,87 %
		Papel- Cartón 75 %	20,67 %
		Metal 70 %	75,29 %
		Vidrio 70 %	40,88 %
4. Recogida selectiva de biorresiduos	4a. Recogida de biorresiduos <i>PEMAR (2016-2022)</i>	Garantizar, antes del 31/12/2023: recogida selectiva de biorresiduos	iniciada en 2020
	4b. Recogida de biorresiduos. <i>PIRCV (2016-2022)</i>	El 25% de biorresiduos deberán ser recogidos de forma selectiva	iniciada en 2020 (0%)
5. Depósito de residuos en vertederos	5a. Vertido de RSU <i>PEMAR (2016-2022)</i>	Vertido máximo de residuos municipales del 40%	54,6 %
	5b. Vertido de RSU <i>PIRCV (2016-2022)</i>	Vertido máximo de residuos municipales del 34%	54,6 %
<i>PEMAR: Plan Estatal Marco de Gestión de Residuos 2016-2022</i>			
<i>PIRCV: Pla integral de residus de la Comunitat Valenciana</i>			

La Tabla 1 muestra como el SGR de Castelló de la Plana en 2019, a tres años del límite temporal para cumplir los requisitos legislativos de 2022, está próximo a alcanzar varios de los objetivos impuestos, principalmente a nivel autonómico. El porcentaje de RSU reciclados (indicador 2) y el vertido máximo de RSU (indicador 5) están a pocos puntos del objetivo, así como la recogida selectiva de residuos orgánicos, para la que en 2019 se realizó una prueba piloto, que ha pasado a implantarse en el municipio en 2020.

4.2. Indicadores ambientales

A continuación, se analiza el impacto ambiental producido por la gestión de los RSU en Castelló de la Plana en 2009 y 2019, mediante la aplicación de la metodología ACV. Para ello, siguiendo las recomendaciones de la ISO 14040-44 (2006), y tomando como unidad funcional la gestión de las toneladas de RSU generados anualmente en la ciudad, se elaboró un inventario del ciclo de vida (ICV) a partir de datos primarios recogidos durante la Etapa 1 de la metodología, directamente de las empresas encargadas del SGR y del

Ayuntamiento de la ciudad (ver Tabla 2). Estos datos fueron completados con información de la base de datos Ecoinvent 3.5 (2018).

Tabla 2. Datos de inventario

ETAPA DEL CV		DATOS DE INVENTARIO		
	FRACCIÓN	Nº CONTENEDORES		CAPACIDAD DEL CONTENEDOR (litros)
		2009	2019	
Pre-recogida	Papel-Cartón	396	560	3.000,00
	Envases ligeros	389	713	3.000,00
	Vidrio	355	718	3.000,00
	Orgánico	-	1.098,00	1.100,00
	Resto (Recogida en masa)	2.900,00	3.599,00	1.100,00
Recogida y transporte	Consumo combustible durante la etapa de transporte (Finnveden et al. 2000) • media carga 0,0256 l/tkm • gran carga 0,0146 l/tkm			
Pre-tratamiento /transferencia	PLANTA	CONSUMO		2009 2019
	Estación de Transferencia	Agua (m ³ /t)	0,04	0,04
		Electricidad (kWh/ t)	1,36	1,36
		Diésel (l/ t)	1,76	1,76
Clasificación	PLANTA	CONSUMO		2009 2019
	Clasificadora de papel	Agua (m ³ /t)	0	0
		Electricidad (kWh/t)	4	4
		Diésel (l/t)	2,58	2,58
	Clasificadora de vidrio	Agua (m ³ /t)	0	0,32
		Electricidad (kWh/t)	6,1	6,1
		Diésel (l/t)	0	0
	Clasificadora de envases	Agua (m ³ /t)	0	0
		Electricidad (kWh/t)	8,05	6,69
		Diésel (l/t)	0,53	0,44
	PRM	Agua (m ³ /t)	0	0,04
		Electricidad (kWh/t)	8,11	7,73
		Diésel (l/t)	0,56	0,14
Valorización	Reciclaje	Datos secundarios extraídos de Ecoinvent 3.5 (2018)		
	Compostaje	Agua (m ³ /t)	0,05	0,09
		Electricidad (kWh/t)	19,67	17,73
Vertido final	Disposición en vertedero	- Consumo de 0.2 l de diésel por t de RSU (Rieradevall, 1997)		
		- Generación de lixiviado (0,15 m ³) y biogás (250 Nm ³) por t de biorresiduo		
		- Quema en chimenea del 50 % del biogás generado Datos secundarios extraídos de Ecoinvent 3.5 (2018)		

Modelando los datos de inventario en el software de ACV SimaPro (2019) y aplicando los factores de caracterización del método CML (2002), se obtuvieron indicadores para 5 categorías de impacto: Calentamiento Global, Destrucción de la Capa de Ozono, Oxidación Fotoquímica, Acidificación y Eutrofización. Los resultados obtenidos se muestran en la Figura 3, donde se indica en rojo el porcentaje de variación en la contribución a cada impacto, entre los años 2009 y 2019.

Como se observa, el escenario para el año 2019 contribuye en menor medida al impacto ambiental que el escenario del 2009, en todas las categorías analizadas. Esto indica que la evolución del SGR de Castelló en la última década ha sido positiva. Esta mejora se debe, principalmente, al ligero aumento del porcentaje de recogida selectiva de fracciones separadas en origen, ya que las tasas de recuperabilidad de fracciones reciclables por parte de las empresas involucradas no han variado en gran medida.

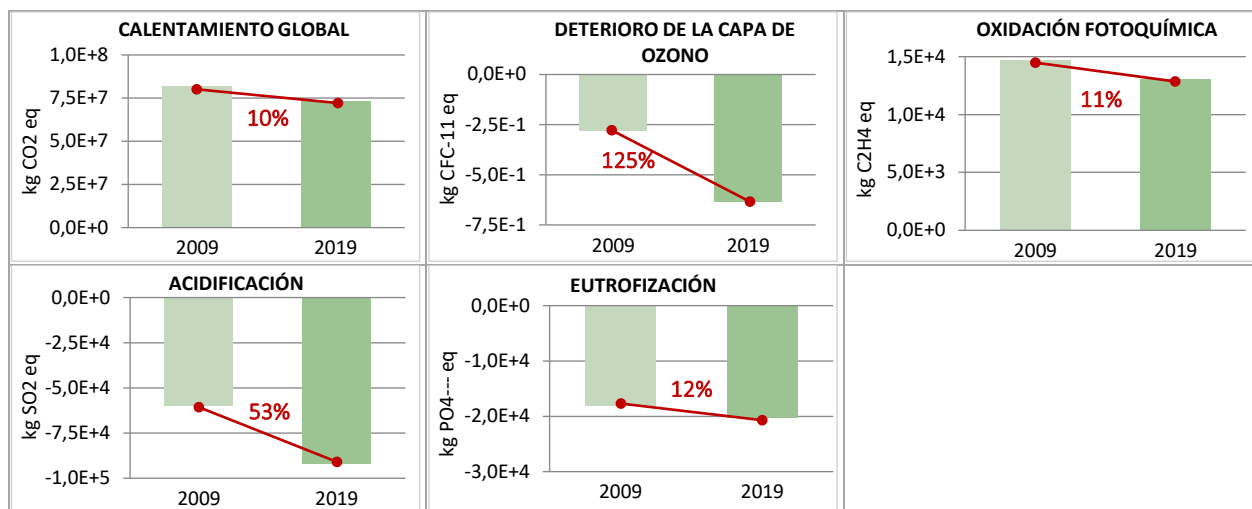


Figura 3. Evaluación del impacto del SGR de Castelló de la Plana

5. Conclusiones

La metodología propuesta en este estudio permite evaluar el comportamiento de los SGR desde una perspectiva ambiental, mediante la aplicación de la metodología ACV, y una legislativa, mediante la valoración del cumplimiento de los objetivos y requisitos vigentes, en materia de gestión de residuos.

Dicha metodología se ha aplicado al SGR de Castelló de la Plana donde las mejoras del sistema de la última década, se han traducido en mejoras ambientales significativas, especialmente en Acidificación y Deterioro de la Capa de Ozono. A pesar de ello, las tasas de recogida selectiva de fracciones reciclables aún distan de los objetivos normativos impuestos para el corto y medio plazo, así como la generación de residuos, que es uno de los principales hándicaps del sistema, puesto que, en lugar de disminuir, ha aumentado un 5.4 % sobre 2010. Esto lleva a identificar las campañas educativas y de sensibilización como elementos clave para optimizar la gestión de residuos a corto y medio plazo.

Agradecimientos

Las autoras agradecen la financiación a la Universitat Jaume I de Castelló, España (Proyecto UJI-A2018-11).

Referencias

- Directiva 2008/98/CE y Directiva (UE) 2018/851 del Parlamento Europeo y del Consejo, sobre residuos. del Parlamento Europeo y del Consejo, de 30 de mayo de 2018, sobre residuos.
- Ecoinvent 3.5, 2018. <https://www.ecoinvent.org/database/ecoinvent-35/ecoinvent-35.html>
- Finnveden, G., Johansson, J., Lind, P, Moberg, A., 2000. Life cycle assessments of energy from solid waste. Stockholms Universitet, Sweden.
- CML, 2002. CML-IA Characterisation Factors, <https://www.universiteitleiden.nl>
- ISO 14040-44, 2006. Environmental management. Life cycle assessment.
- INE, 2019. <https://www.ine.es/>
- Rieradevall, J., Domènech, X., Fullana, P., 1997. Application of life cycle assessment to landfilling. Int. J. Life Cycle Assess. 2 (3), 141-144.
- SimaPro, 2019. <https://www.pre-sustainability.com/>.
- PEMAR, 2015. Plan Estatal Marco de Gestión de Residuos 2016-2022. MAGRAMA, España.
- PIRCV, 2019. Pla Integral de Residus de la Comunitat Valenciana. Generalitat Valenciana, España.