



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
POSGRADO EN CIENCIAS DE LA SOSTENIBILIDAD
INSTITUTO DE ECOLOGÍA

ANÁLISIS DEL SISTEMA SOCIOECOLÓGICO Y DESARROLLO DE UN MODELO DE GESTIÓN
SOSTENIBLE DE RESIDUOS SÓLIDOS. CASO DE APLICACIÓN: CIUDAD DE MÉXICO

TESIS

QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:
DOCTOR EN CIENCIAS DE LA SOSTENIBILIDAD

PRESENTA:

ANTONIO JACINTOS NIEVES

TUTOR DR. GIAN CARLO DELGADO RAMOS
INSTITUTO DE GEOGRAFÍA

MIEMBROS DEL COMITÉ TUTOR
DR. LUIS ANTONIO BOJÓRQUEZ TAPIA
INSTITUTO DE ECOLOGÍA
DR. ENRIQUE CÉSAR VALDEZ
FACULTAD DE INGENIERÍA
DR. RODOLFO OMAR ARELLANO AGUILAR
FACULTAD DE CIENCIAS

CIUDAD UNIVERSITARIA, CIUDAD DE MÉXICO, OCTUBRE DEL 2023



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

M. en C. Ivonne Ramírez Wence
Directora General de Administración Escolar
Universidad Nacional Autónoma de México
Presente

Me permito informar a usted, que el Comité Académico del Programa de Posgrado en Ciencias de la Sostenibilidad, en su sesión 91 del 16 de mayo del presente año, aprobó el jurado para la presentación del examen para obtener el grado de DOCTOR EN CIENCIAS DE LA SOSTENIBILIDAD, del alumno Jacintos Nieves Antonio con número de cuenta 93329985, con la tesis titulada "Análisis del sistema socioecológico y desarrollo de un modelo de gestión sostenible de residuos sólidos. Caso de aplicación: Ciudad de México", bajo la dirección del Dr. Gian Carlo Delgado Ramos.

PRESIDENTA: DRA. YOSUNE MIQUELAJAUREGUI GRAF
VOCAL: DRA. NANCY MERARY JIMÉNEZ MARTÍNEZ
SECRETARIO: DR. RODOLFO OMAR ARELLANO AGUILAR
VOCAL: DRA. MARIANA BETZABETH PELAYO PÉREZ
VOCAL: DR. LUIS ANTONIO BOJÓRQUEZ TAPIA

Sin más por el momento me permito enviarle un cordial saludo.

ATENTAMENTE,

"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"
Cd. Universitaria, Cd. Mx., 28 de septiembre de 2023.



Dr. Alonso Aguilar Ibarra
Coordinador
Posgrado en Ciencias de la Sostenibilidad, UNAM

Agradecimientos

UNAM, por ser siempre mi *alma mater*

Posgrado en Ciencias de la Sostenibilidad, por existir para complementar mi formación

CONAHCYT, por la beca recibida

Comité Tutor, por sus consejos y aportaciones de mejora durante todo el doctorado

Dr. Gian Carlo Delgado Ramos
Dr. Luis Antonio Bojórquez Tapia
Dr. Enrique César Valdez
Dr. Rodolfo Omar Arellano Aguilar

Jurado, por su dedicada revisión y tiempo para complementar mi trabajo

Dra. Yosune Miquelajauregui Graf
Dra. Nancy Merary Jiménez Martínez
Dra. Mariana Betzabeth Pelayo Pérez

Liz, por tu amor, comprensión y apoyo siempre

Mamá y Papá, por su amor incondicional

Hermanos, sobrinas y sobrinos, por compartir su tiempo en esta vida

Amigas y amigos, por estar en los momentos importantes

Sistema Planeta, por dejarme vivir, aprender y aportar hacia nuestra sostenibilidad

Índice de contenido

ÍNDICE DE CONTENIDO	6
TÍTULO	7
RESUMEN	7
ABSTRACT	11
INTRODUCCIÓN	15
PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN Y OBJETIVOS	22
OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN.....	22
MARCO TEÓRICO	23
RESPECTO AL SISTEMA SOCIOECOLÓGICO PARA LA GESTIÓN DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS	23
RESPECTO AL MODELO DINÁMICO	27
ANTECEDENTES	35
ASPECTOS METODOLÓGICOS	42
RESULTADOS	47
MODELO DINÁMICO DEL SISTEMA SOCIOECOLÓGICO URBANO PARA LA GESTIÓN SOSTENIBLE DE LOS RESIDUOS EN LA CDMX.....	47
ESCENARIOS ELABORADOS CON EL MD-SWM4CDMX	55
DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES	59
DISCUSIÓN DEL MD-SWM4CDMX.....	59
CONCLUSIONES DEL DESARROLLO DEL MODELO GESRA.....	62
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	66
ANEXO 1. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS CON LAS QUE SE ELABORÓ EL METAANÁLISIS CON ATLAS.TI	73
ANEXO 2. ECUACIONES/FUNCIONES DE VALOR DE LAS RELACIONES DEL MODELO DINÁMICO	101
ANEXO 3. ESCENARIOS ANALIZADOS CON VENSIMPLE	107
ANEXO 4. ARTÍCULO PUBLICADO	113

Título

ANÁLISIS DEL SISTEMA SOCIOECOLÓGICO Y DESARROLLO DE UN MODELO DE GESTIÓN SOSTENIBLE DE RESIDUOS SÓLIDOS. CASO DE APLICACIÓN: CIUDAD DE MÉXICO

Resumen

Anualmente se generaron en el mundo 2.01 billones de toneladas de residuos sólidos urbanos (RSU) en 2016, considerando un análisis conservador, el 33% no es gestionado de una manera adecuada. El Banco Mundial estimó que a nivel global los RSU tendrán un incremento de 69% de 2012 a 2025, llegando a 6 mil millones de toneladas diarias, lo cual está generando efectos adversos sociales, económicos y ambientales. Hacia mediados del siglo XX, los países desarrollados abordaron el tema mediante un modelo de gestión que propuso la integración de aspectos legales, técnicos y económicos, denominado *gestión integral*. Por otra parte, durante la primera década del siglo XXI surgieron iniciativas en diferentes países que propusieron un modelo más complejo que pretende lograr la interacción de más aspectos: técnicos, legales, ambientales, administrativos, sociales, culturales, financieros y económicos, nombrándolo de *gestión sostenible*.

El abordaje desde el enfoque de sostenibilidad de los sistemas socioecológicos en gestión de residuos, está en una etapa exploratoria. Considerando este planteamiento metodológico, la producción de conocimiento a partir de las Ciencias de la Sostenibilidad genera información cualitativa (elementos, actores, interrelaciones) y cuantitativa (cantidades de residuos aprovechados, residuos contaminantes al agua, suelo y atmósfera) para el análisis de alternativas y acciones a implementar en el sistema socioecológico urbano. La información científica generada, es un aporte hacia el análisis de escenarios alternativos, entre los que se puedan definir, implementar y monitorear acciones hacia la mitigación de la contaminación, reducción de las infecciones y aprovechamiento de los materiales y la energía. Así, vincular a los tomadores de decisión en el entendimiento y aplicación de la información hacia políticas en gestión de residuos que contribuyan a avanzar hacia la sostenibilidad.

Para establecer las bases analíticas de lo anterior, se analizó la evolución entre el modelo de gestión integral al de gestión sostenible de residuos. Por lo que se lograron identificar mejoras limitadas del modelo de gestión sostenible debido principalmente a que todavía presenta una desarticulación y ambigüedad en sus planteamientos, al estar en un nivel teórico-conceptual. Los modelos planteados en gestión sostenible definen de manera general características o intenciones que deben ser cumplidas, sin embargo, no se profundiza en cuáles son los elementos (infraestructura, residuos y recursos), actores clave (usuarios, proveedores y decisores), las interacciones (funciones de valor), ni la integración con el sistema socioecológico urbano (biótico, abiótico y socioeconómico) en el que funciona la gestión de residuos. El presente trabajo, al realizar el análisis de la evolución de los modelos de gestión de residuos permitió identificar sus elementos y actores clave (con experiencia e influencia), definir las interacciones y articular las relaciones de acoplamiento con el sistema socioecológico, para proponer un **modelo de gestión sostenible de residuos acoplado (GeSRA)**, en el que se integra y detalla el entendimiento del sector de residuos desde una perspectiva multidimensional. Posteriormente, se profundizó de forma cuantitativa en la definición de las interacciones y las relaciones, mediante la realización de un modelo dinámico para la gestión de los residuos, el cual está integrado por flujos y almacenamientos respecto de las cantidades de residuos que pueden ser gestionadas, se construyó un modelo dinámico para el análisis de escenarios para el caso de la Ciudad de México.

Desde el enfoque de sostenibilidad de los sistemas socioecológicos este trabajo analizó artículos científicos en gestión de residuos publicados en el mundo entre 1992 a 2022. Basado en los resultados cualitativos y cuantitativos del análisis documental se desarrolló una propuesta del modelo multidimensional GeSRA (m-SWM4Cities), que posteriormente se adaptó y aplicó a un modelo de sistemas dinámicos para el caso de la Ciudad de México (mD-SWM4CDMX). La proposición de la investigación es que: *la articulación claramente definida entre los elementos y actores clave de la gestión de residuos, así como su acoplamiento en la estructura del sistema socioecológico urbano, permitirá analizar con mayor profundidad las afectaciones y beneficios en la salud humana, los ecosistemas y la productividad.*

La investigación de este documento realizó los siguientes objetivos específicos:

1. Conocer y analizar el sistema socioecológico de la gestión de los residuos sólidos urbanos de residuos en el periodo de 1992-2022, definiendo las interacciones entre los elementos y los actores clave de la gestión sostenible de residuos, además del acoplamiento con el sistema socioecológico urbano.
2. Proponer un Modelo Multidimensional GeSRA que fortalezca, redefina o proponga nuevas interacciones entre los elementos y los actores clave de la gestión sostenible de residuos, y en caso, las relaciones de acoplamiento con el sistema socioecológico urbano hacia una trayectoria de sostenibilidad.
3. Evaluar el Modelo Dinámico GeSRA, bajo escenarios de comportamiento del sistema socioecológico urbano, valorando sus efectos benéficos y adversos ante los escenarios propuestos.

Los residuos sólidos urbanos (RSU) son generados diariamente por las actividades humanas. La acumulación de residuos en las calles y su transporte hacia lugares cada vez más lejanos, con el poco aprovechamiento de los materiales y la energía, son algunas afectaciones evidentes ocasionadas por la inadecuada gestión de los residuos. La CDMX genera alrededor de 12,355 ton/día, lo que equivale aproximadamente a la superficie del estadio de Ciudad Universitaria con una altura de 15 metros por día. Además, en la CDMX el sector de residuos contribuyó con el 15.8% de un total de 30.7 MtCO_{2-eq} de gases de efecto invernadero generados en el año 2012. En aspectos sociales y económicos, desde el cierre del Bordo Poniente en diciembre de 2011 el Gobierno de la CDMX ha estado transportando los residuos a municipios en los estados de México y Morelos, sin aprovechamiento significativo de materiales y energía, con afectaciones en la salud de la población donde son dispuestos los residuos y pagando cuotas por los miles de toneladas diarias recibidas en los sitios de disposición final. La gestión de los residuos en la CDMX está en un momento de adaptación. Debido a que la Constitución de la CDMX establece que las alcaldías son co-responsables de la gestión de los residuos sólidos urbanos, sin embargo, la mayoría de la infraestructura existente es administrada y operada por el Gobierno de la CDMX y por el Sindicato de trabajadores de limpia (camiones recolectores, estaciones de transferencia, plantas de selección y plantas de composta), por lo que deberá existir una etapa de transición en la que se desarrolle un nuevo Programa institucional hacia la gestión sostenible de los residuos.

La aplicación del modelo GeSRA brinda información científica para analizar escenarios en gestión sostenible de residuos en zonas urbanas, en particular se presenta un caso para la CDMX ante diferentes alternativas de gestión de residuos. La información generada en este documento, muestra la variación del flujo de residuos ante las relaciones e interacciones entre elementos y actores del sistema socioecológico urbano en la gestión de residuos, por lo que analiza escenarios de posibles alternativas de acciones, infraestructura y tecnologías, para seleccionar los escenarios es los que se visualice la reducción de la cantidad de residuos enviados a disposición final y maximice los beneficios hacia el sistema socioecológico urbano.

Abstract

2.01 billion tons of urban solid waste (MSW) were generated annually in the world in 2016, considering a conservative analysis, 33% is not managed properly. The World Bank estimated that global MSW will have an increase of 69% from 2012 to 2025, reaching 6 billion tons per day, which is generating adverse social, economic and environmental effects. Towards the middle of the 20th century, developed countries addressed the issue through a management model that proposed the integration of legal, technical and economic aspects, called comprehensive management. On the other hand, during the first decade of the 21st century, initiatives arose in different countries that proposed a more complex model that seeks to achieve the interaction of more aspects: technical, legal, environmental, administrative, social, cultural, financial and economic, named as sustainable waste management.

The approach from the sustainability approach of socio-ecological systems in waste management is in an exploratory stage. Considering this methodological approach, the production of knowledge from Sustainability Sciences generates qualitative (elements, actors, interrelationships) and quantitative information (amounts of waste used, waste polluting water, soil and atmosphere) for the analysis of alternatives and actions to be implemented in the urban socio-ecological system. The scientific information generated is a contribution towards the analysis of alternative scenarios, among which actions can be defined, implemented and monitored towards the mitigation of contamination, reduction of infections and use of materials and energy. Thus, link decision makers in the understanding and application of information towards waste management policies that contribute to moving towards sustainability.

To establish the analytical bases of the above, the evolution between the integral management model and the sustainable waste management model was analyzed. Therefore, it was possible to identify limited improvements to the sustainable management model, mainly due to the fact that it still presents a disarticulation and ambiguity in its approaches, being at a theoretical-conceptual level. The models proposed in sustainable management define in a general way characteristics or intentions that must be fulfilled, however, it does not delve into which are the elements (infrastructure, waste and resources), key actors (users, suppliers and decision-makers), the interactions (value

functions), nor the integration with the urban socio-ecological system (biotic, abiotic and socioeconomic) in which waste management operates. The present work, by carrying out the analysis of the evolution of the waste management models, allowed to identify its elements and key actors (with experience and influence), define the interactions and articulate the coupling relationships with the socio-ecological system, to suggest a **model of coupled sustainable waste management (GeSRA)**, which integrates and details the understanding of the waste sector from a multidimensional perspective. Subsequently, the definition of interactions and relationships was quantitatively deepened, through the realization of a dynamic model for waste management, which is integrated by flows and storage with respect to the amounts of waste that can be managed. , a dynamic model was built for the analysis of scenarios for the case of Mexico City.

From the sustainability approach of socio-ecological systems, this work analyzed scientific articles on waste management published in the world between 1992 and 2022. Based on the qualitative and quantitative results of the documentary analysis, a proposal for the GeSRA multidimensional model (m-SWM4Cities) was developed, which was later adapted and applied to a dynamic systems model for the case of Mexico City (mD-SWM4CDMX). The research proposition is that: *the clearly defined articulation between the key elements and actors of waste management, as well as their coupling in the structure of the urban socio-ecological system, will allow a deeper analysis of the impacts and benefits on human health, ecosystems and productivity.*

The research of this document accomplished the following specific objectives:

1. Understand and analyze the socio-ecological system of urban solid waste management from 1992-2022, defining the interactions between elements and key actors in sustainable waste management, as well as its integration with the urban socio-ecological system.
2. Propose a Multidimensional GeSRA Model that strengthens, redefines, or suggests new interactions between elements and key actors in sustainable waste management, and, if necessary, the coupling relationships with the urban socio-ecological system towards a sustainability trajectory.

3. Assess the Dynamic GeSRA Model under scenarios of urban socio-ecological system behavior, evaluating its beneficial and adverse effects in response to the proposed scenarios.

Solid urban waste (MSW) is generated daily by human activities. The accumulation of waste in the streets and its transport to increasingly distant places, with little use of materials and energy, are some of the obvious effects caused by inadequate waste management. The CDMX generates around 12,355 tonnes/day, which is approximately equivalent to the surface area of the Ciudad Universitaria stadium with a height of 15 meters per day. In addition, in CDMX the waste sector contributed 15.8% of a total of 30.7 MtCO₂-eq of greenhouse gases generated in 2012. In social and economic aspects, since the closure of Bordo Poniente in December 2011, the The CDMX government has been transporting waste to municipalities in the states of Mexico and Morelos, without significant use of materials and energy, affecting the health of the population where the waste is disposed of and paying fees for the thousands of tons received daily. at final disposal sites. Waste management in CDMX is in a moment of adaptation. Because the CDMX Constitution establishes that the municipalities are co-responsible for the management of solid urban waste, however, most of the existing infrastructure is managed and operated by the CDMX Government and by the Workers Union (collection trucks, transfer stations, selection plants and compost plants), so there must be a transition stage in which a new institutional Program towards sustainable waste management is developed.

The application of the GeSRA model provides scientific information to analyze scenarios in sustainable waste management in urban areas, in particular a case is presented for the CDMX before different waste management alternatives. The information generated in this document shows the variation of the waste flow in the face of the relationships and interactions between elements and actors of the urban socio-ecological system in waste management, for which reason it analyzes scenarios of possible alternative actions, infrastructure and technologies, to select The scenarios are those that visualize the reduction in the amount of waste sent to final disposal and maximize the benefits to the urban socio-ecological system.

Introducción

Los residuos generados en el mundo han seguido una tendencia creciente, como se comenta en el documento *What a Waste. A Global Review of Solid Waste Management* elaborado por Banco Mundial (Kaza, Yao, Bhada-Tata, & Van Woerden, 2018). La gestión y manejo de los residuos representa un tema central para avanzar hacia el desarrollo sostenible. El reto de la gestión de los residuos representa una oportunidad para mejorar los temas ambientales, económicos y sociales. Los residuos son una problemática global, en la que existe una evolución en el análisis y la implementación de propuestas, por lo que resulta relevante contribuir en la discusión global, y particularizando en el análisis de las interrelaciones del sector de residuos y su acoplamiento con el sistema socioecológico urbano.

En 2016 las ciudades del mundo generan aproximadamente 2.01 billones de toneladas de residuos sólidos por año, lo cual está ocasionando impactos indeseables, tanto sociales y económicos, como ambientales. Se espera que este volumen aumente a 2.2 billones de toneladas para el año 2025, lo que equivaldría aproximadamente a cubrir la ciudad de París hasta la punta de la Torre Eiffel con los residuos del año. La tasa de generación de residuos se duplicará en los próximos veinte años en los países de menores ingresos. A nivel mundial, los costos de gestión de residuos sólidos aumentarán de \$205.4 billones anuales a aproximadamente \$ 375.5 billones en 2025. También, el aumento de los costos será más severo en los países de bajos ingresos, en más de 5 veces, y en los países de ingreso medio, en más de 4 veces (Kaza, Yao, Bhada-Tata, & Van Woerden, *What a Waste 2.0. A Global Snapshot of Solid Waste Management to 2050*, 2018). Además, el sector de residuos contribuye a la generación de gases de efecto invernadero (GEI) a escala global. El grupo de expertos del Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC) en su comunicación, estimó que la contribución del sector residuos en la generación de GEI en 2005 fue de 1,300 MtCO₂-eq, lo que representa casi el 5% global (IPCC, 2005). Esta situación se potencia en México, el Programa Especial de Cambio Climático 2014-2018 pone en cuarto lugar al sector de residuos con una estimación de 139.8 MtCO₂-eq, lo que representa 13% de las 1,073.3 MtCO₂-eq totales estimadas para 2012 en el país (SEMARNAT, 2014).

La gestión de residuos ha sido analizada de manera tradicional con metodologías enfocadas en algún aspecto particular del sistema, este modelo se llama de *gestión integral* considerando aspectos legales, económicos y técnicos (SEMARNAT, 2001). La gestión integral surgió hacia mediados del siglo XX predominantemente en países desarrollados. Actualmente, comienzan a utilizarse métodos más complejos para el análisis del sector de residuos tomando en cuenta las dimensiones de la sostenibilidad: ambiental, económica y social (Zurbrügg, C. et al. 2012., Ramírez, C., Paredes, D. y Guerrero, J. 2014., Rigamonti, L., Sterpi, I. y Grosso, M. 2015., Tng, Y., Meng, K. and Ching, L. 2015. y Milutinovic, B., Stefanovic, G., Dekic, P., Mijailovic, I. y Tomic, M. 2017.). Principalmente, en algunos países europeos y asiáticos la gestión integral ha evolucionado a un modelo nombrado de *gestión sostenible*, con el cual, se pretende lograr la interacción de más aspectos: técnicos, legales, ambientales, administrativos, sociales, culturales, financieros y económicos. La tabla 1 presenta una síntesis de la comparación temática entre los modelos analizados, el análisis detallado se presenta en el capítulo de Antecedentes.

Tabla 1. Temáticas en modelos de gestión integral y gestión sostenible.		
	Modelos de residuos	
Aproximaciones metodológicas comunes	Gestión integral de residuos	Gestión sostenible de residuos
Análisis comparativo de tecnologías	X	
Análisis financieros o ambientales	X	
Análisis Fortaleza, Oportunidades, Debilidades y Amenazas	X	
Análisis de ciclo de vida lineal	X	
Enfoque multidisciplinario (legal, económico y técnico)	X	X
Elaboración de índices y matrices de gestión de residuos	X	X
Enfoque Sistémico (social, económico, ambiental, político, etc.)		X
Análisis multicriterio		X

Análisis de ciclo de vida circular		X
Soluciones cero residuos		X
Análisis dinámico de sistemas		X
Algunos autores por modelo	Przydatek, Grzegorz. 2016 Kukula, K. 2016 Rigamonti, L., Sterpi, I. y Grosso, M. 2015 Tng, Y., Meng, K. and Ching, L. 2015. Mor, S., Kaur, K. y Khaiwal, R. 2015.	Connett, P. 2013 Silva, A., Rosano, M., Stocker, L. y Gorissen, L. 2016 Marmolejo, L. 2013 Seadon, J. 2010 Santos, L. y Furiam, S. 2012 Milutinovic, B., Stefanovic, G., Dekic, P., Mijailovic, I. y Tomic, M. 2017
Fuente: elaboración propia considerando principalmente las referencias Zurbrügg, C. et al. 2012., Ramírez, C., Paredes, D. y Guerrero, J. 2014., Rigamonti, L., Sterpi, I. y Grosso, M. 2015., Tng, Y., Meng, K. and Ching, L. 2015., Milutinovic, B., Stefanovic, G., Dekic, P., Mijailovic, I. y Tomic, M. 2017., Stefanovic, Gordana et al. 2016., Santos, L. y Furiam, S. 2012., Devadula, S., Gurumoorthy, B. y Chakrabarti, A. 2015., Milutinovic, B., Stefanovic, G., Dassisti, M., Markovic, D. y Vuckovic, G. 2014. y Mor, S., Kaur, K. y Khaiwal, R. 2015.		

En este sentido la recuperación de los residuos, requiere que todos los procesos de la gestión estén alineados con la separación y aprovechamiento (Przydatek, Grzegorz. 2016., Ak, H. y Braidá, W. s/f. y Mireya, G. y Camacho, R. 2016.). La Comunidad Europea ha logrado reducir el envío de residuos a rellenos sanitarios al 30.2% del total generado, existiendo países con porcentajes de confinamiento menores al 5%, los datos de éstos países son: Alemania 0.2%, Bélgica 0.9%, Holanda 1.5%, Dinamarca 1.6% y Austria 4.0% (Kukula, K. 2016.). Los modelos en gestión de residuos están evolucionando de la recolección y el confinamiento de los residuos (gestión integral) hacia la utilización de los materiales y la energía proveniente de los residuos (gestión sostenible), como ejemplos, están los modelos de Economía Circular y los programas de Residuos Cero (Silva, A., Rosano, M., Stocker, L. y Gorissen, L. 2016., Cucchiella, F., D'Adamo, I. y Gastaldi, M. 2017. y Susshil. 2014.).

Todos generamos residuos diariamente. Cada vez que desechamos algo somos parte de una forma de vida no sostenible en el planeta (Connett, P. 2013). Sin embargo, el modelo de gestión sostenible todavía está planteado/expresado a un nivel general, por lo que un mayor y mejor entendimiento del sector de residuos respecto a las relaciones entre los elementos (infraestructura, residuos y recursos), actores clave (usuarios, proveedores y decisores), las interacciones (funciones de valor), y su integración en la estructura del sistema socioecológico urbano (biótico, abiótico y socioeconómico), permitiría continuar avanzado hacia la profundización analítica del modelo de gestión sostenible. También en la investigación se integran aspectos como los circuitos informales y la retroalimentación al sistema de gestión de residuos con la finalidad de reducir la generación de residuos hacia una trayectoria de sostenibilidad en la gestión de los residuos. Para ello, se propone un **modelo de gestión sostenible de residuos acoplado (GeSRA)**, con el que se integre y mejore el entendimiento del sector de residuos respecto a sus relaciones, acoplamientos y dinámicas entre los elementos y actores clave con el sistema socioecológico urbano, así profundizar el análisis de escenarios para la gestión sostenible de los residuos y, por lo tanto, aumentar las herramientas de análisis para la selección (toma de decisiones) y acompañamiento en la implementación de alternativas (monitoreo de acciones).

Considerando el análisis inicial realizado y presentado en la tabla 1, se identifica una evolución global de los modelos de gestión de residuos, de la cual se desprenden las siguientes reflexiones comparativas. El modelo de gestión integral tiene como unidad de análisis un proyecto para un proceso de la gestión de residuos, a diferencia del modelo de gestión sostenible que sugiere una orientación sistémica con la cual se realice la gestión de residuos. Otra característica relevante es que, la gestión integral tiene un enfoque lineal con soluciones de final de tubo, a diferencia de la gestión sostenible que su enfoque es de flujos cíclicos para el aprovechamiento de los recursos y los materiales. El tipo de problema del modelo de gestión integral son de ingeniería y disciplinarios, a diferencia del modelo de gestión sostenible que aborda los problemas perversos y pretende utilizar la transdisciplina para la gestión de residuos. Regularmente la gestión integral realiza un análisis estático y con variables no relacionadas, por su parte la gestión sostenible intenta considerar la dinámica del sistema y una mayor cantidad de variables

y sus interacciones. El modelo de gestión integral hace un análisis ambiental o económico con algunos elementos sociales, el modelo de gestión sostenible propone considerar las dimensiones de la sostenibilidad para el análisis: ambiental, económico y social. La gestión integral sigue utilizándose en la mayoría de países del mundo, y la evolución a la gestión sostenible tiene algunos ejemplos de aplicación, sin embargo, persisten vacíos respecto a la articulación entre los elementos y actores clave, y las relaciones con el sistema socioecológico urbano, que, si bien se proponen en la gestión sostenible, aún no están claramente definidos. Los principales argumentos teóricos sobre los cuales se ha desarrollado el GeSRA están abordados en el capítulo del Marco Teórico de este documento. Por otra parte, el detalle de la discusión sobre el modelo de gestión integral y la gestión sostenible, así como la forma en la que se consideran las ventajas de los modelos y se complementan para construir el GeSRA, se plantean en el capítulo de Antecedentes y en el Anexo 1 Artículo publicado, resultado de esta tesis doctoral: *Advancing a multidimensional sustainable urban waste management model in transition to circular economy in Mexico City*.

La situación de los residuos en México estuvo aproximadamente ocho años en un plano ambiguo, incierto y abandonado por las autoridades federales. El principal instrumento de política ambiental en materia de residuos en México que se tuvo en el periodo 2009-2012 fue el Programa Nacional para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos (PNPGIR). La información contenida en el (PNPGIR) se basó en el Diagnóstico Básico para la Gestión Integral de los Residuos realizado en el año 2006. En enero de 2019, con el cambio en la autoridad federal, se emitió un documento titulado “Visión nacional hacia una gestión sustentable: Cero Residuos” (SEMARNAT, 2019), en el cual se plantea la Visión Nacional en Residuos, principios rectores¹ y transversales hacia el objetivo de “Transformar el esquema tradicional del manejo de los residuos en un modelo de economía circular, para el aprovechamiento racional de los recursos naturales y favorecer el desarrollo sustentable en el país” (SEMARNAT, 2019). Sin embargo, tuvo que pasar poco más de un año para que se publicara la base cuantitativa y cualitativa de

¹ Principios rectores de la Visión Nacional en Residuos: 1. Desarrollo Sustentable; 2. Economía Circular; 3. Combate a la corrupción y transparencia en la gestión pública; 4. Atención a poblaciones vulnerables y justicia social; 5. Reducción del riesgo e impactos en la salud y el medio ambiente; y 6. Bienestar social y reducción de la desigualdad (SEMARNAT, 2019).

la Visión Nacional en Residuos, mediante el “Diagnóstico Básico para la Gestión Integral de los Residuos” (SEMARNAT, 2020). Nótese que si bien en el discurso y objetivo de la visión nacional de residuos se pretende un “modelo de economía circular” en diagnóstico básico sigue presentándose y estructurándose desde una perspectiva de “gestión integral de residuos”, lo cual, sin mediar explicación alguna por los encargados de la elaboración de ambos documentos, parecería una inconsistencia metodológica o al menos una comprensión diferenciada sobre los conceptos y la evolución de los modelos de gestión de residuos. En México la generación per cápita calculada es de 0.944 kg/hab/día, el total de residuos generados es de 120,128 ton/día, distribuidos en: 46.42% orgánicos, 31.56% inorgánicos aprovechables y el 22.03% con otros residuos (no aprovechables) (SEMARNAT, 2020). También se menciona que en el año 2017 se contabilizaron 2,203 sitios de disposición final² en el país (siendo la Ciudad de México la única que no tiene un sitio de disposición final en su demarcación territorial), en los que se vierten aproximadamente 86,352.7 ton/día en promedio (SEMARNAT, 2020), no se especifica la cantidad de residuos vertidos en rellenos sanitarios³ conforme la normativa mexicana lo establece en la NOM-083-SEMARNAT-2003 (Diario Oficial de la Federación, 2004). Sólo por mencionar un efecto adverso en la gestión de los residuos, es su contribución a la generación de GEI. El *Programa Especial de Cambio Climático 2014-2018* pone en cuarto lugar al sector de residuos con una estimación de 139.8 MtCO₂-eq, lo que representa 13% de las 1,073.3 MtCO₂-eq totales estimadas para 2012 en el país (SEMARNAT, 2014), siendo esta cifra mayor que a especificada a nivel global.

Por su parte, la Ciudad de México en 2020 generó 12,355 ton/día, con una generación *per cápita* de 1.071 kg/hab/día, siendo las alcaldías Iztapalapa y la Gustavo A. Madero las de mayor generación diaria, 2,149 ton/día y 1,420 ton/día, respectivamente (SEDEMA, 2021). La Ciudad de México enfrenta retos significativos en la gestión de los residuos, debido al incremento que ha existido en la generación de los residuos, la cantidad de población (residentes y flotante), entre otras características sociales, económicas, políticas, ambientales y de infraestructura en las que se encuentra

² Sitio de disposición final: Lugar donde se depositan los residuos sólidos urbanos y de manejo especial de forma definitiva (Diario Oficial de la Federación, 2004).

³ Relleno sanitario: Obra de infraestructura que involucra métodos y obras de ingeniería para la disposición final de los residuos sólidos urbanos y de manejo especial, con el fin de controlar, a través de la compactación e infraestructura adicionales, los impactos ambientales (Diario Oficial de la Federación, 2004).

funcionando la gestión de los residuos. Así como en la Visión Nacional de Residuos, en el objetivo para la Ciudad de México se establece la gestión integral de residuos sólidos como el modelo a seguir, aunque comentan su intención en el cambio de paradigma hacia la “Basura Cero” (Gobierno de la Ciudad de México, 2016). Por mencionar algunos ejemplos en aspectos sociales y económicos, desde el cierre del Bordo Poniente en diciembre de 2011 (La jornada. 2011) el Gobierno de la CDMX ha estado transportando para disposición final los residuos a municipios en los estados de México y Morelos, sin aprovechamiento significativo de materiales y energía, con afectaciones en la salud de la población donde son dispuestos los residuos y pagando cuotas mensuales por las toneladas recibidas en los sitios de disposición final. Un efecto adverso al ambiente es que el sector de residuos en la CDMX contribuyó con el 15.8% de un total de 30.7 MtCO₂-eq de gases de efecto invernadero generados en el año 2012 (Gobierno de la Ciudad de México, 2014). Por otra parte, con la constitución de la CDMX las alcaldías son co-responsables de la gestión de los residuos sólidos urbanos (Gobierno de la Ciudad de México, 2017), sin embargo, la mayoría de la infraestructura sigue siendo administrada por el Gobierno de la CDMX y por el Sindicato de trabajadores de limpia (estaciones de transferencia, plantas de selección, plantas de composta y sitios de disposición final). Esta situación lleva a plantear una etapa de transición en la que se analicen diversos escenarios y alternativas que permitan definir un nuevo arreglo institucional, social, económico y ambiental para la gestión sostenible de residuos, como es la intención establecida por el Gobierno de la CDMX en su Programa de Gestión Integral de Residuos Sólidos 2021- 2025 (Gobierno de la Ciudad de México, 2021).

Pregunta de investigación y objetivos

La pregunta de la investigación fue: **¿cuáles son las interrelaciones entre los elementos, procesos, tecnologías, generadores, operarios y tomadores de decisión del sector de residuos, así como, las relaciones de acoplamiento con el sistema socioecológico que permitan su mejor funcionamiento hacia una trayectoria de sostenibilidad?** La proposición de la investigación fue que: *la articulación claramente definida entre los elementos, procesos, tecnologías, generadores, operarios y tomadores de decisión clave de la gestión de residuos, así como su acoplamiento en la estructura del sistema socioecológico urbano, permitirá analizar con mayor profundidad las afectaciones y beneficios en la salud humana, los ecosistemas y la productividad.* Para lograr lo propuesto se desarrollaron y concluyeron los siguientes objetivos de la investigación.

Objetivos de la investigación

La investigación se realizó desarrollando los siguientes objetivos específicos:

1. **Conocer y analizar el sistema socioecológico de la gestión de los residuos sólidos urbanos**, a partir de un análisis cualitativo y cuantitativo mediante metaanálisis realizado con artículos de investigación sobre gestión de residuos publicados en el mundo durante el periodo de 1992 a 2022.
2. **Proponer un Modelo GeSRA a nivel teórico conceptual, a partir de los resultados del análisis cualitativo y cuantitativo**, para definir las interacciones entre los elementos, procesos, tecnologías, generadores, operarios y tomadores de decisión clave, además del acoplamiento con el sistema socioecológico urbano obtenido en el objetivo 1.
3. **Desarrollar el Modelo Dinámico GeSRA**. Conceptualizar de origen y construir el modelo GeSRA mediante los elementos, procesos, tecnologías, generadores, operarios y tomadores de decisión clave, así como las relaciones de valor, representadas con ecuaciones que relacionen parámetros y variables para cada relación. Ajustar el modelo GeSRA con datos de la CDMX en el periodo de 2006-2021. Desarrollar escenarios con el modelo propuesto, para identificar la

variabilidad entre ellos y el potencial grado de sostenibilidad de la gestión de residuos.

Marco teórico

La investigación requirió la utilización de un marco teórico integrado por dos etapas complementarias: para el análisis del sistema socioecológico y, para la realización del modelo dinámico y caso de aplicación para la CDMX. La integración de estos marcos teóricos se efectuó de manera teórica-práctica, es decir, los conceptos expresados en los párrafos siguientes fueron aplicados para la conceptualización del GeSRA cualitativo y posteriormente en el caso para la CDMX mediante el modelo dinámico. La aplicación del entendimiento entre los elementos, procesos, tecnologías, generadores, operarios y tomadores de decisión clave de la gestión de residuos fue mediante los artículos analizados del periodo 1992 al 2022, y posteriormente mediante el ajuste al modelo dinámico con los datos operativos de la gestión de los residuos en la CDMX del periodo 2006 al 2021.

Respecto al Sistema Socioecológico para la Gestión de los Residuos Sólidos

El marco teórico con el que se realizó la primera etapa de la investigación integra dos disciplinas híbridas utilizadas frecuentemente en temas de sostenibilidad: la economía ecológica y la ecología política. La economía ecológica permite establecer, comprender y definir las relaciones a un nivel biofísico y económico entre los elementos del sector de residuos, así como, las relaciones de acoplamiento con el sistema socioecológico. En particular, se utilizaron los planteamientos propuestos por el metabolismo urbano, ya que la mayor cantidad de residuos sólidos son generados en zonas urbanas. La ecología política complementó el análisis al aportar los elementos de entendimiento de las relaciones entre los actores que intervienen en la gestión de los residuos, así se pudieron establecer las relaciones desiguales que existen entre ellos. En específico, se hizo referencia a las discusiones propuestas en la ecología política urbana. Adicionalmente, se analizaron de manera sustantiva los trabajos de autores que han elaborado a un nivel conceptual ciertas características generales de la gestión sostenible de los residuos, las cuáles fueron incorporadas y analizadas con mayor integralidad en este trabajo de

investigación para proponer el modelo GeSRA. El vínculo entre el sistema biofísico y el sistema socioeconómico, son considerados en el modelo GeSRA con mayor detalle, por ejemplo, incorporando actores formales e informales en la gestión de residuos y la influencia que esto ocasiona en el aprovechamiento o no de los residuos, y por tanto, los residuos que son valorizados o aquellos que por el contrario terminan contaminando el suelo, el aire y el agua cercanos a los sitios de disposición final, con los efectos negativos en la salud de las poblaciones cercanas. También el modelo GeSRA incorporó para su desarrollo otros aspectos teóricos que son descritos en los siguientes párrafos.

La economía ecológica es el marco de referencia para realizar el análisis de los flujos de materiales y energía por las actividades humanas. Los residuos son materiales y energía cuyo poseedor se deshace de ellos, la generación de residuos está asociada al poder adquisitivo de las personas y a los patrones de consumo (Delgado, G. 2015. y 42. Delgado, G. 2015a.), por ello, analizar los patrones de flujo y almacenamiento (*stock*) en residuos es un elemento en el GeSRA. La relación entre la ecología política y la economía ecológica (con el metabolismo social) se ha integrado en la ecología política del metabolismo urbano (Delgado, G. 2015d.), lo que implica de acuerdo con Delgado que este “campo híbrido emergente devela que la territorialización urbana y cualquier proceso de transición alternativo no es una cuestión neutral ni libre de las dinámicas termodinámicas y de las constricciones que de éstas se derivan” (p. 124).

El metabolismo urbano tiene sus orígenes empíricos en el trabajo de Wolman de 1965 quien, tras analizar flujos de entrada y salida de energía y materiales de una ciudad, concluye que, llegada una cierta intensidad metabólica, son inevitables los problemas ambientales: contaminación atmosférica, aguas residuales y residuos sólidos. Recordando que en la naturaleza los seres vivos gestionan sus recursos basándose en un metabolismo circular, en donde la luz solar, el agua o los nutrientes (entradas) son transformados en calor, energía y biomasa y, en estricto sentido, no se genera un residuo. En cambio, aquellas sustancias que ya no son necesarias (salidas) regresarán al circuito y cumplirán otra función en el ecosistema. Tal y como ocurre en la naturaleza, las ciudades demandan recursos y productos como son: alimentos, agua y energía para poder “vivir”, es decir, desarrollar sus actividades cotidianas. De hecho, la especie humana ha hecho que la mayoría de los recursos de la Tierra sean destinados al

suministro de las ciudades. El metabolismo urbano ofrece un marco de trabajo holístico con el cual poder analizar las entradas (importaciones), su uso, y las salidas (exportaciones) respecto al medio biofísico que rodea a una ciudad y a otros entornos más alejados donde incluso se llegan a exportar residuos (caso de la exportación de residuos de electrónicos a países como India o Pakistán).

Los procesos extractivos y productivos, en conjunto con los patrones de consumo de la sociedad actual, han hecho que las ciudades actuales estén basadas en modelos de metabolismo lineal. Entendiendo por esto, que el flujo inicia y termina en puntos diferentes, sin que necesariamente se toquen, desde la extracción de materias primas, fabricación de los productos, distribución a los mercados, consumo y/o uso, y finalmente desechándolos. El metabolismo lineal ha causado el agotamiento de los recursos naturales o la alta dependencia sobre los no renovables, además de contaminación en aspectos ambientales: agua, aire, suelo, flora y fauna. Una alternativa propuesta para reducir la problemática ante la situación comentada, es el metabolismo urbano circular, es decir, flujos de materiales y energía predominantemente circulares, semejantes a los que se tienen en la naturaleza.

En la dimensión social de la sostenibilidad se trabajó desde la ecología política para analizar los conflictos reflejados como relaciones sociales desde una perspectiva que articula la interacción entre la naturaleza y los humanos. Por ello, como lo propone Toledo se considera que en la problemática de residuos existen tres procesos provocadores de desorden: 1) inequidad social y desgaste, 2) ineficiencia y 3) disfuncionalidad de las mayores instituciones (Toledo, V. 2015.). La ecología política urbana (EPU) surge de la ecología política aplicada al análisis de entornos urbanos. La EPU ofrece un enfoque para el análisis de procesos económicos, políticos, sociales y ecológicos interconectados en el entorno urbano con desigualdades (Nik, H. 2016.).

Marmolejo (Marmolejo, 2013), retoma de Van de Klundert & Anschürtz el concepto de Gestión de Residuos Sostenible Integrada, la cual se define como “un conjunto de piezas o elementos interrelacionados para la reincorporación eficiente de los materiales recuperados de los residuos sólidos municipales a un ciclo económico y productivo que se mantenga en el tiempo mediante estrategias técnicamente apropiadas y económicas

y socialmente viables sin comprometer los recursos ambientales para las generaciones futuras“ (p. 254).

Otra visión respecto a la Gestión Sostenible de los Residuos la aportan (Cucchiella, D'Adamo, & Gastaldi, 2016), “cuando se minimiza la generación de residuos y sustancias nocivas, se reutilizan los materiales reutilizados (utilizando materiales repetidamente), reciclados (con materiales para fabricar nuevos productos) o recuperados (que producen energía de los desechos) y los residuos de eliminación se reducen al mínimo para preservar los recursos para el futuro” (p. 18).

De manera similar Ak, H. y Braidá, W. s/f. describen que la Gestión Sostenible de Residuos Sólidos es “la gestión de residuos hoy sin comprometer las perspectivas de las generaciones futuras al maximizar la recuperación de los recursos de la corriente de residuos” (p. 1004) y complementan especificando que “un sistema de gestión sostenible de residuos debe ser ambientalmente efectivo, económicamente asequible y socialmente aceptable” (p. 1005).

De acuerdo con Delgado (Delgado, G. 2015.), la Gestión Sostenible de los Residuos debe tomar en cuenta: a) la disminución de la demanda de los asentamientos urbanos y la consecuente prevención de generación de residuos; b) la eficiencia en el uso presente de los recursos materiales y energéticos y en el de los bienes en los que son incorporados; c) la generación de energía a partir de biomasa residual; d) el reúso, recuperación o reciclaje de materiales clave en múltiples escalas temporales y espaciales según las características del flujo de tal o cual material (demanda, de ser necesario el rediseño de las mercancías e infraestructuras) y, con ello, e) el cierre de ciclos de materiales y la eventual reducción de dependencias con otros espacios proveedores de recursos (p. 282-283).

Todo eso ha llevado al planteamiento de la gestión de residuos sostenible o gestión sostenible de los residuos. El modelo multidimensional GeSRA desarrollado originalmente en esta investigación retoma y detalla el análisis que los autores expuestos proponen de manera general. La discusión y resultados están estructurados y ejemplificados su aplicación para un caso en el artículo publicado: *Advancing the Application of a Multidimensional Sustainable Urban Waste Management Model in a Circular Economy in Mexico City*; también el artículo versa sobre el modelo GeSRA

aplicado para el caso de la Ciudad de México, se elaboraron y analizaron diversos escenarios exploratorios, así como su construcción y discusión de resultados.

Respecto al Modelo Dinámico

El modelo GeSRA elaborado de manera original en esta investigación partió de la premisa de que existe un sistema socioecológico urbano para la gestión sostenible de los residuos, analizado conforme al marco teórico expuesto anteriormente. Entendiendo que un sistema es una combinación de elementos que actúan conjuntamente para alcanzar un objetivo específico (Ogata, 1987), en el caso de la presente investigación es la gestión sostenible de los residuos. Por lo que, un elemento es una unidad particular con una función en el sistema, por lo que pueden ser: elementos, procesos, tecnologías, generadores, operarios y tomadores de decisión clave relacionados con el funcionamiento de la gestión de los residuos. Por otra parte, un modelo es una representación simplificada de la realidad, en este caso la realidad se entiende desde el sistema socioecológico urbano y su influencia en el sector de residuos. Es decir, el modelo GeSRA del sistema socioecológico considera las cantidades de residuos en toneladas por día como entradas conocidas y se obtendrá el resultado de las salidas hacia diferentes procesos como: reciclaje de materiales, tratamiento de residuos orgánicos, generación de energía de residuos y disposición final, lo que se conoce como modelado matemático experimental (Ibíd.). Además, como se mencionó en párrafos anteriores con el modelo GeSRA se podrán identificar umbrales de la cantidad de residuos aprovechables y no aprovechables, así como, disyuntivas sobre las acciones de recuperación y tratamiento en la gestión sustentable de los residuos sólidos urbanos, mediante el planteamiento y análisis de escenarios que brindan datos prospectivos para el periodo del 2018 al 2030 que aportan y apoyan la toma de decisiones.

Los sistemas dinámicos se utilizan ampliamente en el mundo científico, para analizar y predecir el comportamiento de fenómenos físicos, ecológicos, económicos y sociales. Por ello, resultan una aproximación viable para su aplicación en las Ciencias de la Sostenibilidad. De manera sencilla, un sistema dinámico es aquel que cambia en el tiempo, su comportamiento es complejo, ya que tiene una gran cantidad de elementos e interrelaciones funcionales (Shiflet & Shiflet, 2006). El GeSRA es un modelo dinámico

que analiza el comportamiento complejo del sector de residuos en un sistema socioecológico urbano que para el caso de aplicación será la CDMX, estableciendo mediante funciones de valor (ecuaciones) las interrelaciones entre los elementos. Se ha encontrado que en algunos casos resulta de utilidad que los sistemas dinámicos utilizados en la biología, la economía, la física, etc., sean representados o modelados mediante ecuaciones diferenciales (Mendoza Reyes, Sf), para el modelado del GeSRA se utilizaron flujos y almacenamientos que consideraron la variación temporal de la cantidad de residuos en su paso a través de diferentes procesos. Seadon (2010) ha propuesto una estructura para el entendimiento de la dinámica para la gestión de residuos, en la que los elementos del sistema de gestión de residuos están relacionados e influenciados entre sí. En su artículo “Sustainable waste management systems” (Seadon, 2010) propone un arreglo de los elementos que forma un sistema de gestión sostenible de residuos, sin que realice alguna simulación. Otros autores que han aplicado la dinámica de sistemas para el análisis de tipos de residuos en particular son: Chen y Chang (2010) para RSU, Yuan et al. (2012) para residuos de construcción y demolición, y Yu y Wei (2012) para energía de residuos (Blumberga, Timma, Romagnoli, & Blumberga, 2014), entre otros.

Como se ha mencionado para el desarrollo del GeSRA se utilizó el proceso de modelación de flujos y almacenamientos. Entendiendo para esta investigación que, el modelado es la aplicación de actividades para analizar problemas complejos de situaciones reales con el fin de entender el comportamiento entre los elementos, las relaciones y hacer predicciones sobre lo que podría suceder al implementar diferentes alternativas para la gestión de residuos en la CDMX (Shiflet & Shiflet, 2006). Un modelo probabilístico o estocástico simula comportamientos aleatorios, p.e. los tipos de residuos que son generados diariamente, mientras que en un modelo determinista no influye el azar ni la incertidumbre, p.e. la cantidad de vehículos recolectores que se requieren para dar cobertura a una zona, el GeSRA considera variables de ambos tipos por lo que es un modelo híbrido. El detalle de las variables, unidades y relaciones se presenta en el apartado de resultados. Es importante mencionar que, si bien existen aspectos en la gestión de residuos con gran incertidumbre como la cantidad de residuos generada por persona, o la variación de los residuos por niveles de ingreso en la población, también

existen aspectos determinados como la cantidad de residuos que se pueden transportar o la eficiencia en el tratamiento dependiendo la tecnología utilizada. Como lo plantean Calvo, Varela-Candamio, & Novo-Corti (2014) el propósito de un modelo es reproducir el comportamiento actual del sistema y, por lo tanto, establecer una herramienta de apoyo útil para que los procesos de toma de decisiones influyan en el comportamiento de la gestión de los residuos por los actores relevantes. El modelo propuesto en el documento se considera dinámico de tipo híbrido, es decir, existen algunas variables deterministas y otras de tipo probabilístico, ya que como se mencionó con algunos ejemplos, existe incertidumbre en procesos de la gestión de los residuos.

Recientemente los modelos conceptuales de simulación de gestión de residuos han mencionado como importante el concepto de "sostenibilidad", incorporando dos categorías de análisis. Una categoría que aborda los factores sociales en los métodos de toma de decisiones (Beccali et al., 1998; Vaillancourt y Waaub, 2002; Klang et al., 2003), mientras que la otra categoría debe incorporar la participación pública en el proceso de toma de decisiones (Bellehumeur et al., 1997; Vasseur et al., 1997; Ananda y Herath, 2003). Morrissey y Browne (2004) propusieron que un modelo de gestión sostenible de residuos debería ser ambientalmente efectivo, económicamente asequible y socialmente aceptable (Hung, Ma, & Yang, 2006), éstos conceptos también los comparte Seadon (2010) entre otros autores, por lo que serán incorporados en el modelo GeSRA que se presenta en este documento.

El análisis de la gestión de los residuos ha tenido diferentes aproximaciones. Muchos de los enfoques utilizados han tenido como unidad de análisis el proyecto, es decir, la simulación del modelo se realiza considerando el diseño y la operación de un proyecto de residuos en particular, como una planta de incineración de residuos, o una planta de separación de residuos (Gellynck, Jacobsen, & Verhelst, 2011; Pumpinyo & Nitivattananon, 2014; Lopes Ferri, Diniz Chaves, & Mattos Ribeiro, 2015; Hadidi & Mahmoud Omer, 2016; y Comparetti, y otros, 2014). Otros de ellos han elaborado análisis combinados de diferentes aspectos relacionados con las alternativas de proyecto, lo cual ha sido realizado mediante análisis comparativos de la operación de dos o más posibles acciones de proyectos de residuos (Rizwan, Saif, Almansoori, & Elkamel, 2017; Woon & Lo, 2016; Wang, y otros, 2017; Couto, y otros, 2014; Ghinea, y otros, 2016; y Generowicz,

Kulczycka, Kowalski, & Banach, 2011). Recientemente se ha comenzado a utilizar el análisis mediante sistemas dinámicos para cierto tipo de residuos, generados por los sectores: construcción, salud y alimentación, los cuales son aplicados para flujos específicos de residuos, como residuos de la construcción o residuos se de usan para generar energía (Yuan, 2012; Blumberga, Timma, Romagnoli, & Blumberga, 2014; Calvo, Varela-Candamio, & Novo-Corti, 2014; y Marmolejo, 2013).

La amplitud de aspectos que pueden analizarse en la gestión de residuos se evidencia en los aspectos y variables que pueden incorporarse. Aspectos técnicos, ambientales, financieros, sociales y políticos son los que con mayor frecuencia se utilizan, cada vez más de forma combinada, proponiendo una perspectiva de gestión sostenible de residuos (Hung, Ma, & Yang, 2006; Chen, Pang, Zhang, & Li, 2014; Shi, Liu, Li, & Xu, 2016; Cucchiella, D'Adamo, & Gastaldi, 2016; Marino, Nucara, Nucera, & Pietrafesa, 2017; y Seadon, 2010). Sin embargo, un modelo conceptual de simulación de la gestión sustentable de residuos que esté integrado en el sistema socioecológico urbano para el flujo total de los residuos sólidos urbanos no fue identificado en la revisión bibliográfica. Por ello, se considera el GeSRA conceptualizado, implementado y evaluado originalmente en esta investigación, como un modelo de apoyo para el análisis de la gestión sostenible de los residuos, el cual está desarrollado desde el enfoque del sistema socioecológico urbano con el cual pueda analizarse el funcionamiento integrado de los elementos que intervienen, mediante el uso de flujos, almacenamientos y variables de influencia.

El GeSRA parte de entender la sostenibilidad como el equilibrio dinámico de los elementos y actores relevantes, sus interrelaciones y las relaciones de interacción con el sistema socioecológico hacia un mejor metabolismo urbano (flujo de materiales y energía), que sea socioeficiente en aspectos de salud, atmósfera y productividad. Es decir, los residuos contienen el trabajo tanto físico como humano, denominado exergía, el cual debe hacerse eficiente para reducir la entropía natural del sistema socioecológico reduciendo los impactos negativos al ambiente y a la sociedad por esta actividad (Marmolejo, 2013; y Seadon, 2010). La figura 1 presenta la conceptualización del entorno entre el sistema socioecológico representado por los subsistemas ecológico y socioeconómico, con el sector de residuos. El subsistema ecológico está conformado por

los factores bióticos y abióticos, existiendo interacciones con materiales, energía, agua, tierra y aire con el espacio urbano en particular con los recursos que requiere y con los residuos que genera, por su parte el subsistema social se encuentra embebido en el subsistema ecológico, e incluye los factores cultural, social, económico y político que a su vez influyen en el espacio urbano.

Sistema socioecológico urbano

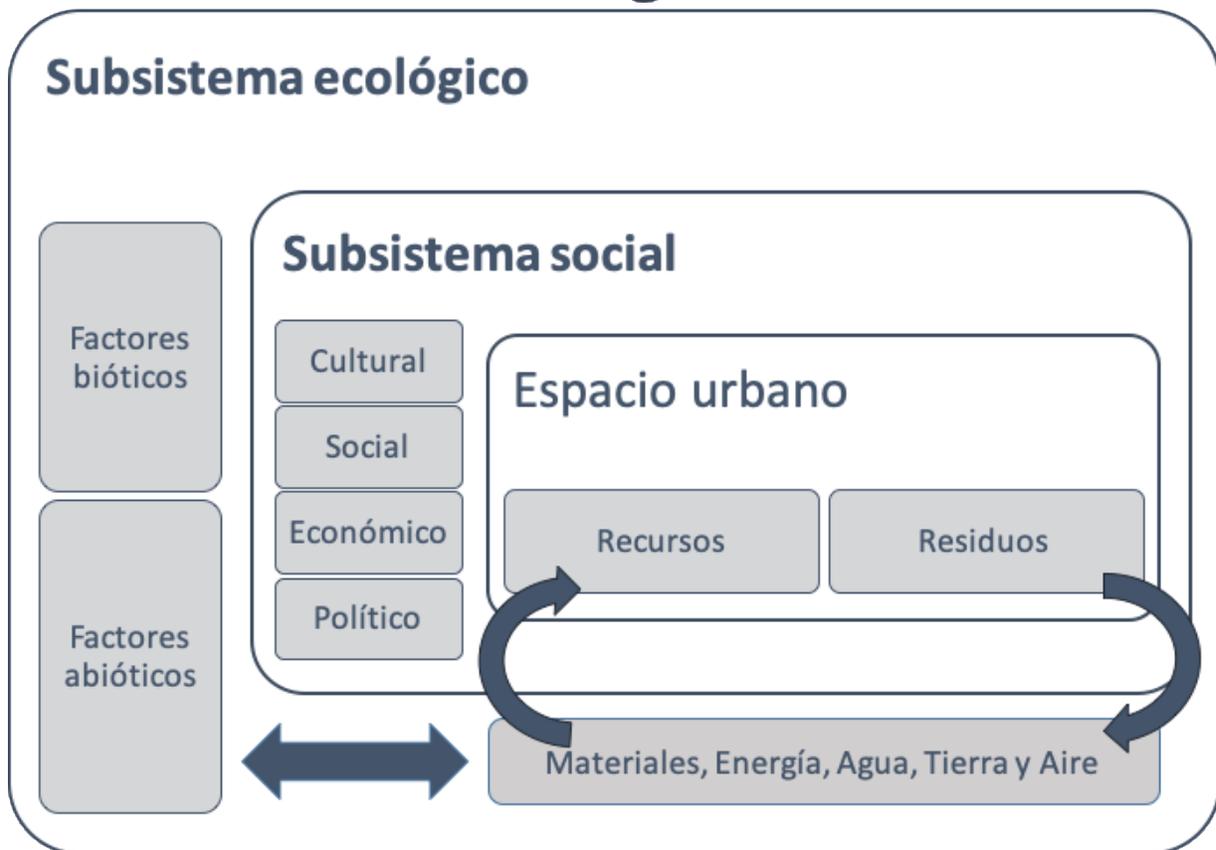


Figura 1. Sistema socioecológico para el modelo

Fuente: elaboración propia

El modelo GeSRA se diferencia de otros modelos en gestión de residuos, como los enfocados a proyectos o comparativas de alternativas de proyectos, integra como principales características: a) interrelaciones entre elementos de la gestión de residuos mediante un modelado con flujos y almacenamientos (residuos, recursos, infraestructura, usuarios, proveedores y decisores), b) relaciones de interacción entre elementos del sector de residuos y componentes del sistema socioecológico (participación, institucionalidad, procesos y tecnología, contaminantes, y flujo de materia y energía), y

c) interrelaciones entre decisores, proveedores y usuarios para la elección colectiva de acciones hacia la mejor gestión de los residuos. Además, como parte del marco teórico, los atributos considerados para desarrollar el modelo GeSRA son: sostenibilidad fuerte, sistema adaptativo complejo, enfoque interdisciplinario, proceso transdisciplinario y problema perverso, los cuales se desarrollan en los siguientes párrafos.

El concepto de desarrollo sostenible ha evolucionado desde su mención por primera vez en el Informe Brundtland en 1987. Esta evolución se ha bifurcado en la sostenibilidad débil o fuerte, la primera desde un enfoque antropocéntrico y valoración de la naturaleza por medio del mercado, la segunda, con valoraciones multicriteriales con enfoque geocéntrico, histórico y no lineal (Delgado, Imaz, & Beristain, 2015; Asrul, Abdul, & Wan, 2016; y Oswald, 2015). Este enfoque se considera para la gestión sostenible de los residuos, ya que considera valoraciones multicriteriales y análisis no lineal.

El sistema para la gestión de los residuos es un sistema adaptativo complejo ya que la interacción dinámica no lineal de los elementos con el entorno cambia la respuesta del socioecosistema y se ajustan con comportamientos propios (Seadon, 2010; y Levin, y otros, 2012). Fischer, y otros (2015) proponen que los sistemas socioecológicos son sistemas adaptativos complejos caracterizados por la continua retroalimentación entre las múltiples escalas e interrelaciones que amplifican o reducen el cambio, este proceso de retroalimentación cimienta la capacidad de la biosfera para soportar el progreso humano y el desarrollo. De acuerdo con este planteamiento, para definir el GeSRA se requiere conocer del sistema de gestión de residuos: la dependencia en la acción humana y el ecosistema, la colaboración disciplinaria y entre la ciencia y la sociedad, las diversas metodologías complementarias para la comprensión del sistema y los marcos de políticas que tomen en cuenta las interacciones socioeconómicas.

El análisis de sistemas complejos requiere la aplicación del enfoque interdisciplinario. No es la unión de disciplinas o las relaciones entre ellas lo que determina la interdisciplinariedad de un estudio, el cambio de paradigma está en el desplazamiento del “análisis desde las disciplinas” hacia el “análisis de los objetos de estudio”, por lo que, la interdisciplinariedad es determinada por el objeto de análisis que para el caso es un sistema complejo. Alineado con esto, es que García (2011) propone que la “investigación interdisciplinaria” es el tipo de estudio que requiere un sistema

complejo, en sus palabras: “Los objetivos de una investigación interdisciplinaria se logran a través del juego dialéctico en las fases de diferenciación e integración que tienen lugar en el proceso que conduce a la definición y estudio de un sistema complejo” (p. 82). Este enfoque se aplicó en el desarrollo del GeSRA, por lo que, se incorporan variables de diferentes aspectos del sistema socioecológicos que intervienen en la gestión de los residuos sólidos urbanos.

La diversidad de actores relacionados con la gestión de residuos requiere que para su análisis se avance del enfoque disciplinario hacia el transdisciplinario (Seadon, 2010). La transdisciplina en las Ciencias de la Sostenibilidad implica un trabajo interdisciplinario en el que además se involucre a los actores en las diferentes fases de análisis y planteamiento de escenarios de manejo, al grado de co-producir conocimiento y lograr el empoderamiento de los actores en la implementación de las intervenciones, es decir, la transdisciplina es el trabajo entre las disciplinas, a través de las diferentes disciplinas, y más allá de todas las disciplinas (Brandt, y otros, 2013; Klenk, y otros, 2015; Cash, y otros, 2003; Mauser, y otros, 2013; y Stokols, 2006). La coordinación e involucramiento en la gestión de residuos entre los diferentes niveles, dependencias y actores es indispensable para garantizar el funcionamiento del sistema. Como lo plantea Delgado G. (2015) la mejor gestión de los servicios en una ciudad debe ser producto de un “amplio ejercicio de intercambio de conocimiento o diálogo de saberes, de la coproducción de conocimiento, complejo, interdisciplinar y reflexivo” (p. 125), esto es, de un proceso transdisciplinario.

La gestión de residuos implica enfrentar problemas perversos. Los problemas perversos tienen las siguientes características: (1) son difíciles de definir con claridad, (2) tienen muchas interdependencias y son a menudo multi-causales, (3) abordar los problemas perversos a menudo conducen a consecuencias imprevistas, (4) a menudo son inestables, (5) por lo general no tienen solución clara, (6) son socialmente complejos, (7) casi nunca son cómodamente interiorizados dentro de la responsabilidad de alguna organización, (8) implican cambios en el comportamiento, y (9) se caracterizan por la incapacidad política crónica (Australian Government, 2007; y Balint, Stewart, Desai, & Walters, 2011).

Antecedentes

El metaanálisis realizado para conceptualizar el Sistema Socioecológico para la Gestión de los Residuos Sólidos corresponde a 418 artículos científicos de investigación de los 5,985 inicialmente identificados por el proceso de búsqueda del año 1992 a 2022⁴, la selección se debe a que en la cantidad más amplia se consideran diversos documentos como conferencias, libros, capítulos de libros, editoriales, artículos de prensa, entre otros. También se tuvieron que omitir todos aquellos artículos científicos cuyo texto no está disponible en su totalidad de manera libre, quedando 4,779, de los cuales se realizó una selección manual conforme su relación directa con la investigación, por lo que fueron seleccionados 418 artículos con los que se realizó el análisis.

ATLAS.ti es un programa comercial de análisis de datos cualitativos asistidos por computadora, que ayuda en la investigación académica. La fundamentación teórica del programa se basa en la Teoría Fundamentada (Grounded Theory) de Glaser y Strauss (1967). ATLAS.ti es un programa de análisis cualitativo asistido por computadora (QDA), el cual, se utilizó para: a) asociar códigos con oraciones en el texto, b) buscar patrones de códigos, c) clasificarlos, d) realizar la vinculación o relación entre los códigos creando una red semántica, y e) cuantificar las co-ocurrencias de las relaciones. La versión con la que se realizó el análisis fue ATLAS.ti 8.1.0 para Mac.

Codificación. Los códigos y las palabras asociadas para cada uno, se basaron en los resultados del análisis realizado con VOSviewer, definiendo códigos que pudieran integrar palabras con similitudes semánticas, teniendo en cuenta aspectos relacionados con sostenibilidad y gestión de residuos. La definición de códigos y asignación de palabras se realizó de forma manual para garantizar la congruencia y consistencia en los términos técnicos. El resultado fueron 11 códigos, a cada uno de los cuales se les dio una nomenclatura (tabla 2). Las tablas 3 y 4 muestran las palabras vinculadas con cada código para realizar el proceso de codificación. Si bien los códigos son elementos independientes,

⁴ La búsqueda consideró los *tags* “gestión” y “sostenible” y “residuos” comprendiendo los campos de “título del artículo, resumen, palabras clave”. La búsqueda se redefinió aún más al considerar solo aquellos en la etapa final de publicación y en inglés. El resultado fue un total de 5,985 documentos para el período de 1992 a 2022. No se encontró ninguna publicación bajo esos parámetros de búsqueda antes de 1992. De los 5,985 documentos, solo se seleccionaron aquellos clasificados como “papers” (reduciendo su número a 4,779). Posteriormente, se hizo una selección manual para priorizar aquellos relevantes para un análisis cuantitativo y cualitativo, considerando un total de 418 artículos.

también fueron pensados con una lógica de grupo, es decir, el código de “sostenibilidad” agrupa a: ambiental, económica, social y política, por su parte, el código “gestión de residuos” agrupa a: procesos, infraestructura, tecnologías y materiales, solamente quedando independiente metodología. La utilidad en la definición de los códigos con el enfoque de grupo se mostrará en la creación de la red semántica (figura 2).

Una vez definidos los 11 códigos se codificaron los 418 artículos, lo cual, consistió en la lectura de cada artículo y la asignación de códigos a oraciones en el texto que trataran de alguno, el texto que ha sido codificado se denomina “cita”. Por ejemplo, si en el texto de un artículo se mencionaban aspectos de materiales se asignaba el código “Ma_” y queda registrada una cita, si en otra oración se comentaban temas sociales se codificaba con “Sc_”, otra cita, en algunas oraciones se abordaban temas de varios códigos por lo que se asignaban todos los relacionados, en ese caso existían tantas citas como códigos para esa oración. El total de citas por código para los 418 artículos se muestra en la tabla 2.

Tabla 2. Códigos y nomenclatura

Código	Nomenclatura	Cantidad de citas	% absoluto	% relativo al grupo
Sostenibilidad	Ss_	3,664	4%	12%
Ambiental	Am_	7,846	9%	25%
Económica	En_	9,524	11%	31%
Social	Sc_	5,210	6%	17%
Política	Pl_	4,595	6%	15%
Grupo Sostenibilidad		30,838	37%	100%
Metodología	Mt_	6,992	8%	100%
Gestión de residuos	Gr_	4,832	6%	11%
Procesos	Pr_	17,867	21%	39%
Infraestructura	In_	3,334	4%	7%
Tecnologías	Tc_	5,071	6%	11%
Materiales	Ma_	14,474	17%	32%
Grupo Gestión de residuos		6,992	8%	100%

Total 11 códigos		83,407	100%	
-------------------------	--	---------------	-------------	--

Fuente: elaboración propia

Tabla 3. Códigos y palabras asignadas: Ss, Am, Sc, Pl y Mt

Ss_	Am_	En_	Sc_	Pl_	Mt_
sustainability	environment	economic	social	policy	methodology
sustainable	environmental	economy	socio	politics	systems
development	natural resources	costs	communities	government	analysis
zerowaste	ecological	value	stakeholders	institutional	models
risks	renewable	companies	household	public	methods
complex	pollution	markets	workers	authorities	framework
	habitat	financial	residents	governance	variables
	emissions	investment	education	legislation	
	greenhouse gas	tax	relationships	regulations	
		efficiency	pickers		

Fuente: elaboración propia

Tabla 4. Códigos y palabras asignadas: Gr, Pr, In, Tc y Ma

Gr_	Pr_	In_	Tc_	Ma_
waste management	process	infrastructure	technology	material
operations	recycling	facilities	composting	energy
implementation	landfill	sites	incineration	food
integrated	collection	equipment	wte	paper
	treatment	cities	digestion	biomass
	separation		gasification	metals
	transportation		vermicomposting	plastic

				glass
--	--	--	--	-------

Fuente: elaboración propia

Red semántica. ATLAS.ti define que una red semántica establece las relaciones de significado entre los códigos. La vinculación de los códigos permite identificar oraciones con contenidos temáticos relacionados. Los tipos de relación preestablecidas por el programa son: *posible, es asociado con, es parte de, es causa de, contradice, es un/una, predice, es propiedad de, es causa y efecto, e influye*; además, se pueden crear otros tipos de relación. La asignación de relaciones puede realizarse entre dos códigos o de forma múltiple (varios códigos a la vez). Los tipos de relación utilizados en la presente investigación fueron: “*is property of*”, “*is part of*”, “*is cause of*”, e “*is associated with*”. La creación de la red semántica se hizo de forma manual considerando el origen de los códigos, su posible agrupación y/o relación de acuerdo con la revisión de los 331 artículos y la congruencia con los términos utilizados, la figura 2 muestra el resultado.

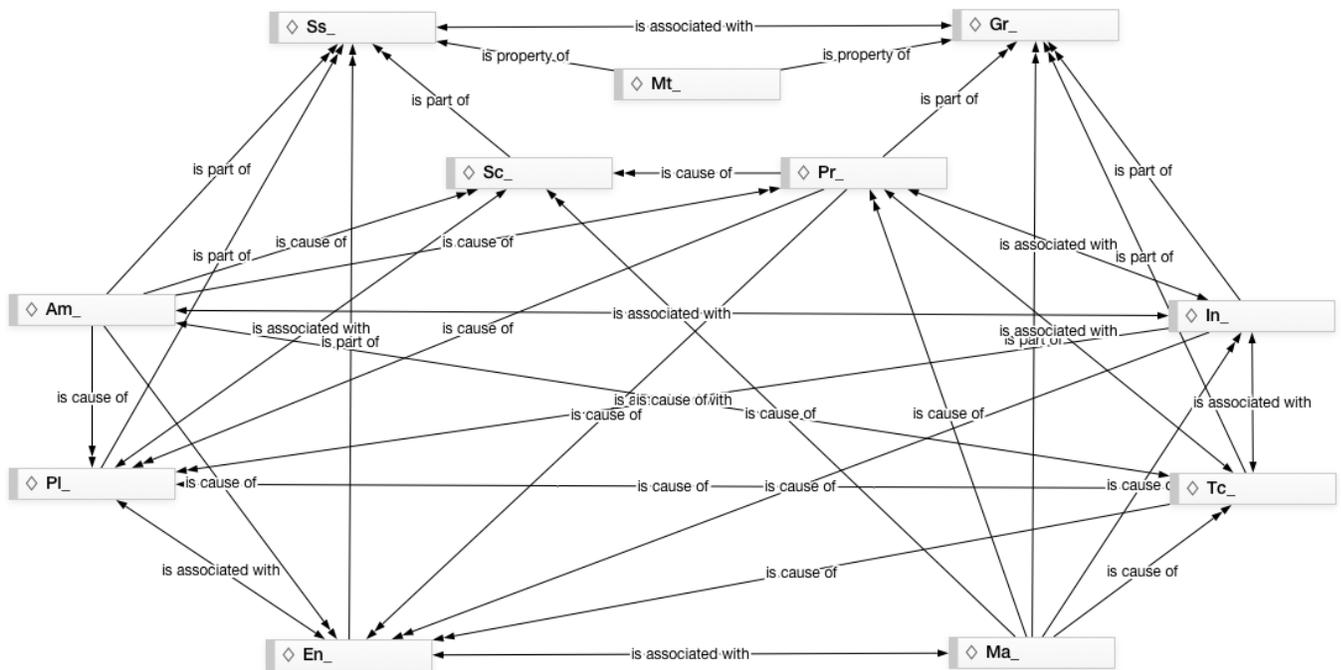


Figura 2. Red semántica de los 11 códigos

Fuente: elaboración propia

La red semántica muestra la relación entre los 11 códigos (figura 2). En un primer nivel, se observa la relación entre sostenibilidad (Ss) y gestión de residuos (Gr) mediante mutua asociación, a la vez que ambos están relacionados con metodologías (Mt). La red semántica se puede entender en dos bloques de códigos, correspondientes con los grupos formados “sostenibilidad” y “gestión de residuos”. Es decir, sostenibilidad (Ss) está integrada por ambiental (Am), político (PI), social (Sc) y económico (En), y por otra parte, los códigos de Gestión de residuos (Gr), se integran por procesos (Pr), tecnologías (Tc), infraestructura (In) y materiales (Ma). Además, se establecen relaciones causales entre ellos, por ejemplo, Tc es causa de PI y En, a la vez que está asociada con Am; a su vez Am es causada por Pr, Sc, P, y En, y asociada con In. Las relaciones presentadas dan una idea de la estructura del sistema de gestión de residuos y los vínculos existentes con la sostenibilidad, a partir, del análisis realizado.

Co-ocurrencias. Una vez creada la red semántica, las tablas de co-ocurrencias se generaron mediante la función Tabla de co-ocurrencias que está en el menú de Análisis. La primera tabla de co-ocurrencias muestra el resultado considerando todos los códigos (tabla 5). El segundo análisis presenta las co-ocurrencias entre los códigos que forman parte de sostenibilidad (Ss) contra los que forman parte de gestión de residuos (Gr), es decir, compara al grupo formado por Am, En, PI y Sc contra el formado por In, Ma, Pr y Tc (tabla 6).

Los resultados de la tabla 2 muestran un total de 83,407 citas, divididas 37% para el Grupo de Sostenibilidad, 55% para el Grupo de Gestión de residuos y 8% del código Metodología. Considerando el % absoluto los códigos de mayor participación con Procesos (21%) y Materiales (17%), ambos del Grupo de Gestión de residuos, la suma de éstos dos códigos supera el total del Grupo de Sostenibilidad. Por otra parte, los códigos con menores citas respecto al total son Sostenibilidad (4%) e Infraestructura (4%), Gestión de residuos (6%) se encuentra en el tercer sitio con menor cantidad de citas. Al realizar el análisis de los % relativos al grupo, se tiene que en el Grupo de Gestión de residuos se mantienen Procesos y Materiales con la mayor cantidad de citas, y el de menor cantidad es Infraestructura. Para el caso del Grupo de Sostenibilidad, los de

mayores citas son Económica y Ambiental y el de menor es Sostenibilidad. Considerando estos datos, se puede afirmar que, en los 418 artículos analizados, los temas más relevantes (con mayor cantidad de citas) son Procesos y Materiales, en el otro extremo están los menos relevantes (con menor cantidad de citas) que son Sostenibilidad e Infraestructura.

El análisis de las co-ocurrencias general (tabla 5) da información de la cantidad de citas en los que se relaciona ambos códigos. Por ejemplo, cuando se escribe en una oración de un artículo sobre procesos (Pr) en 3,912 ocasiones también se abordan temas de materiales (Ma), otro caso es cuando se abordan temas sociales (Sc) solamente en 138 ocasiones también se comentan aspectos de tecnología (Tc). En otras palabras, la tabla 5 muestra la frecuencia con la que un código está relacionado con los demás. Comparando los resultados para sostenibilidad (Ss) contra Gestión de residuos (Gr), en la suma de las co-ocurrencias, sostenibilidad tiene el menor número con 4,851 contra 5,292 de Gestión de residuos, analizando la comparativa para los códigos de los grupos, es decir, para los 8 códigos (Am, En, Pl, Sc, In, Ma, Pr y Tc), existen 5 códigos en los que Gr es mayor que Ss, y en 3 ocurre lo contrario, los códigos en los que Ss es mayor son: Ambiental, Económico y Tecnología. Éste hallazgo nos permitió establecer que el concepto de Sostenibilidad tiene una menor relación con temas de: Infraestructura, Materiales, Política, Procesos y Social, y se relaciona más con: Ambiental, Económico y Tecnología, para Gestión de residuos ocurre lo contrario.

Tabla 5. Co-ocurrencias general: códigos vs códigos

	Am_	En_	Gr_	In_	Ma_	Pl_	Pr_	Sc_	Ss_	Tc_
Am_	0	1441	632	321	1726	600	1969	733	770	549
En_	1441	0	677	467	1824	679	2255	1125	711	561
Gr_	632	677	0	279	726	712	1056	490	550	170
In_	321	467	279	0	524	318	1154	252	186	223
Ma_	1726	1824	726	524	0	545	3912	828	748	946
Pl_	600	679	712	318	545	0	1055	571	419	204
Pr_	1969	2255	1056	1154	3912	1055	0	1148	870	1434

Sc_	733	1125	490	252	828	571	1148	0	406	138
Ss_	770	711	550	186	748	419	870	406	0	191
Tc_	549	561	170	223	946	204	1434	138	191	0

Fuente: elaboración propia

El análisis selectivo de co-ocurrencias sintetiza los hallazgos (tabla 6). El código procesos (45.39%) es el que mayor porcentaje de co-ocurrencias presenta, en particular con temas de económico (15.93%) y ambiental (13.91). Por otra parte, los aspectos de infraestructura (9.59%) tiene la menor cantidad de co-ocurrencias, siendo su relación con aspectos sociales (1.78%) y política (2.25%) las menos relacionadas. El Grupo de Gestión de residuos presenta los códigos procesos y materiales como los más relevantes, y los de infraestructura y tecnología los menores. En el caso, del Grupo de Sostenibilidad los aspectos económico y ambiental son los más importantes, y los de política y social son los más bajos.

Tabla 6. Porcentajes de co-ocurrencias con selección de códigos: Ss vs. Gr

	Am_	En_	PI_	Sc_	Sumatoria
In_	2.27%	3.30%	2.25%	1.78%	9.59%
Ma_	12.19%	12.88%	3.85%	5.85%	34.77%
Pr_	13.91%	15.93%	7.45%	8.11%	45.39%
Tc_	3.88%	3.96%	1.44%	0.97%	10.25%
Sumatoria	32.24%	36.07%	14.99%	16.71%	100.00%

Fuente: elaboración propia

Aspectos Metodológicos

El desarrollo del GeSRA consistió en diversas etapas desde su planteamiento hasta su aplicación en el análisis de escenarios. Diversos autores han presentado las etapas que deben seguirse para el desarrollo de un modelo dinámico. Acevedo (2013) propone cuatro: i. Conceptual, en la que se define el problema y se describe el sistema, ii. Matemática, es la cual se definen los elementos y el modelo matemático, iii. Simulación, con la que se realiza el análisis numérico, y iv. Análisis, que consiste en la generación de los resultados. De manera similar, Yuan (2012) sugiere que la modelación del sistema dinámico consiste en cinco pasos: a) diagrama conceptual de las interacciones causales, b) diagrama de flujos y almacenamientos, c) creación de confianza en el modelo, d) simulación base o inicial y e) análisis de escenarios. Lo propuesto por Yuan es el camino simplificado que se siguió para realizar el GeSRA. En este mismo sentido, se retomaron y adaptaron a Shiflet & Shiflet (2006, págs. 8-10) para realizar el GeSRA, a continuación, se detallan las etapas y descripción de actividades principales para el proceso de modelación del sistema dinámico:

1. Analizar el problema. La gestión de los residuos es un problema de tipo perverso, por ello, definir con toda precisión el problema resulta complicado, por esta situación se considera como “problema” para ser modelo la cantidad de residuos por día que fluyen a lo largo de los diferentes procesos de la gestión de los residuos en el sistema socioecológico urbano. El objetivo del GeSRA es analizar el comportamiento de flujo de residuos que está influenciado por diferentes actores y actividades, en un entorno del sistema socioecológico urbano.

2. Formular un modelo. La primera aproximación del GeSRA que se presenta en este documento, ha sido el resultado de la revisión de 418 artículos científicos en gestión de residuos para el periodo comprendido entre 1992 y 2022. La revisión de los artículos en gestión de residuos permitió establecer una primera red de relaciones entre aspectos asociados con la gestión sostenible de los residuos. Con lo anterior se realizó un esquema conceptual en el que están representados los elementos del sistema socioecológico para la gestión de los residuos (figura 3). El esquema conceptual se trasladó a un modelo de flujos y almacenamientos (figura 4), el cual es descrito con mayor

detalle en el capítulo Resultados y discusión. Las ecuaciones (funciones de valor) para cada una de las relaciones establecidas para el caso de aplicación de la CDMX está en el Anexo 3.

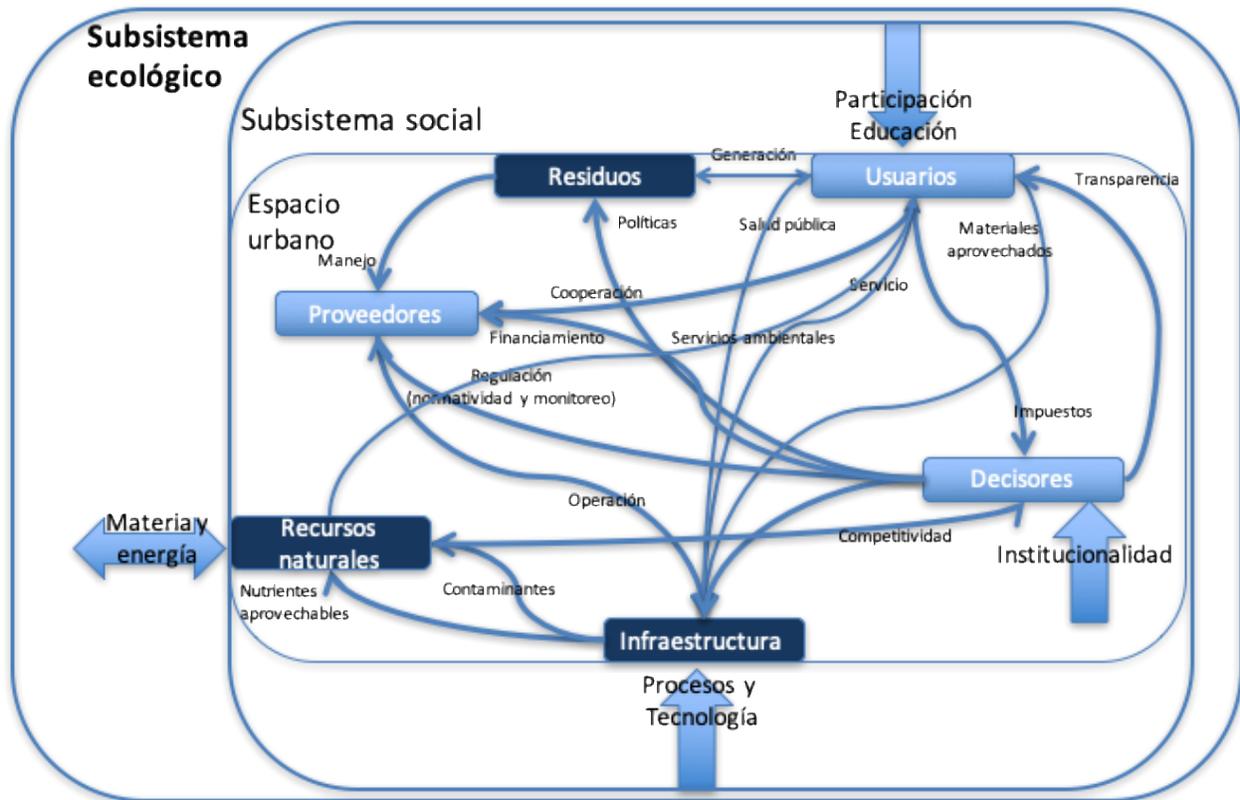


Figura 3. Esquema conceptual base para el desarrollo del modelo GeSRA

Fuente: elaboración propia

3. Resolver el modelo. El GeSRA fue ajustado con la información existente del manejo de residuos en la CDMX del periodo 2006 a 2021, para realizar las simulaciones del modelo. El ajuste de parámetros para que se obtengan resultados más cercanos al comportamiento real de los residuos, se realizó considerando los resultados de las simulaciones respecto a los datos históricos para la CDMX, por lo que, se tiene un modelo final con caso de aplicación en la CDMX, este modelo se nombró como: mD-SWM4CDMX, que significa modelo dinámico de la gestión sostenible de los residuos en la Ciudad de México.

4. Verificar e interpretar la solución del modelo. Una vez que se tuvo el modelo resuelto, se verificó que los resultados obtenidos fueran congruentes y se validó que la solución corresponde con el problema inicialmente planteado. El proceso de verificación implica que el GeSRA trabaja adecuadamente, mientras que la validación establece si el sistema responde lo establecido por el problema a resolver. Por lo que se verificó que el GeSRA resuelve bien el problema y se validó que el modelo resuelve el problema correcto. También, se desarrollaron para el periodo de evaluación (2018-2030) tres principales escenarios: a) tendencial (gestión actual de residuos), b) gestión lineal de residuos, y c) gestión sostenible de residuos. Para los escenarios b) y c) se realizaron análisis complementarios, considerando la sensibilidad del modelo respecto a la variación de la cantidad de residuos aprovechables en porcentajes que variaron del 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80 al 90. El escenario tendencial considera el porcentaje de 20% de residuos aprovechables conforme a los datos históricos de gestión de residuos en la CDMX.

Los escenarios elaborados se realizaron en dos versiones: sin retroalimentación y con retroalimentación. El modelo mD-SWM4CDMX sin retroalimentación no considera que los productos que se obtienen de los residuos se integran al sistema socioecológico de gestión de residuos para la CDMX, lo que implica que si bien, se podría producir dichos productos derivados de residuos, éstos son exportados de la CDMX. Por el contrario, los escenarios con retroalimentación consideran que los productos que se obtienen del aprovechamiento de los residuos, son incorporados en el flujo de materiales del sistema socioecológico de gestión de residuos para la CDMX. El escenario tendencial (BUA) se considera dentro de los escenarios sin retroalimentación.

Los escenarios desarrollados consideran la variación de la proporción de residuos recuperables, en rangos de variación de 10% por escenario, ver tabla 7. Es decir, un primer escenario es sin retroalimentación con 10% de residuos recuperables y 90% no recuperables, un segundo escenario sin retroalimentación con 20% de residuos recuperables y 80% no recuperables, y así sucesivamente. Por otra parte, para la versión del modelo con retroalimentación, es una secuencia análoga, iniciando con un 10% recuperables y 90% no recuperables, luego 20% recuperables y 80% no recuperables, hasta completar los escenarios. Por lo que, en la presente investigación solamente se tuvieron escenarios del modelo mD-SWM4CDMX con la variación del porcentaje de

residuos recuperables, tanto en la versión sin retroalimentación como con retroalimentación.

Tabla 7. Parámetros y variación en los escenarios analizados con el modelo mD-SWM4DMX

Modelo mD-SWM4CDMX	% RA	% RCs
SR	10	90
SR	20	80
SR	30	70
SR	40	60
SR	50	50
SR	60	40
SR	70	30
SR	80	20
SR	90	10
CR	10	90
CR	20	80
CR	30	70
CR	40	60
CR	50	50
CR	60	40
CR	70	30
CR	80	20
CR	90	10

Fuente: elaboración propia.

Notas: SR- sin retroalimentación. CR-con retroalimentación. RA-residuos aprovechables. RC-residuos contaminantes.

5. Informar sobre el modelo. Al haber, concluido las etapas anteriores se redactó y publicó el artículo científico (Anexo 4. *Advancing the Application of a Multidimensional Sustainable Urban Waste Management Model in a Circular Economy in Mexico City*⁵)

⁵ <https://doi.org/10.3390/su151712678>

para informar el desarrollo y resultados del GeSRA, con su caso de aplicación en la CDMX.

6. Mantener el modelo. También se considera que el GeSRA puede tener correcciones, ajustes o mejoras futuras. Lo que implica que pudiera utilizarse para el análisis de la gestión sostenible de los residuos en otros lugares, realizando la calibración adecuada y el involucramiento de actores locales relevantes con conocimiento del sector de residuos. Es decir, el GeSRA se ha desarrollado de manera general, teniendo un primer caso de aplicación en la CDMX, pero se considera su posible aplicación en otros lugares o a otras escalas.

Es importante aclarar que, si bien se realizaron todas las etapas y actividades que llevaron a desarrollar el GeSRA, en el presente trabajo de investigación se llegó a la etapa en la que se aplicó el modelo dinámico mediante flujos y almacenamientos al caso CDMX. Los resultados mostrados en este documento, variarán conforme se incorpore el proceso de revisión y adecuación del modelo con los actores relevantes, para obtener mayor detalle de los datos sobre la gestión de residuos en la CDMX del periodo 2006 a 2021, y así ajustar el mD-SWM4CDMX aquí elaborado, lo cual puede realizarse en futuras investigaciones sobre el tema.

Resultados

Modelo dinámico del sistema socioecológico urbano para la gestión sostenible de los residuos en la CDMX

El mD-SWM4CDMX realizado representa el comportamiento del sector de residuos inmerso en el sistema socioecológico urbano de la CDMX para el periodo de 2018 al 2030. Como se ha mencionado, la estructura y dinámica del sistema para el manejo de los residuos han sido analizadas principalmente por Seadon (2010) y Marmolejo (2013), también ya se han desarrollado sistemas dinámicos para el análisis de residuos en casos específicos como: RSU (Chen and Chang, 2010), sector salud (Chaerul et al., 2008), construcción y demolición (Yuan et al., 2012), y energía de residuos (Yu and Wei, 2012). El modelo aplicado considera los elementos, procesos y actores relacionados con la gestión sostenible de los residuos, incluyendo aspectos técnicos, económicos, sociales y ambientales (figura 4).

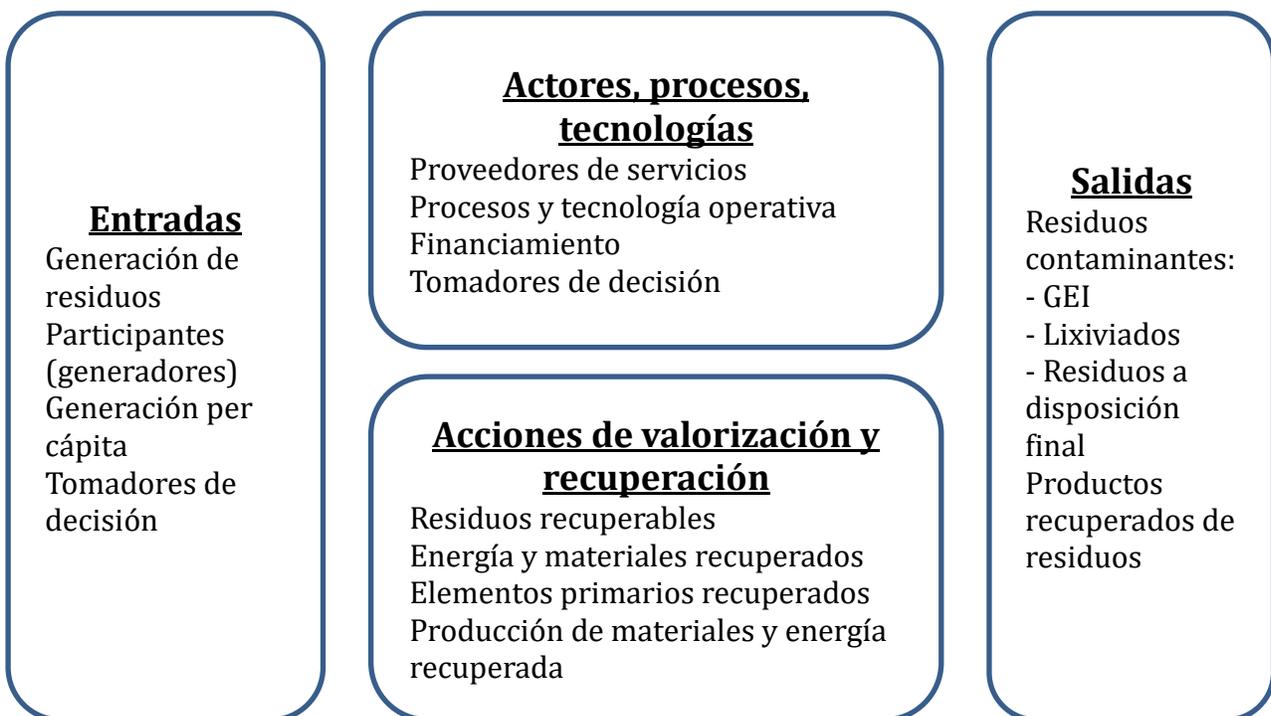


Figura 4. Esquema Entradas-Salidas modelo GeSRA

Fuente: elaboración propia

Por ello, la dinámica de sistemas se utiliza desde un enfoque analítico integrador, es decir, el modelo propuesto tiene como finalidad analizar de conjunto la gestión

cooperación, regulación, manejo, operación, financiamiento, residuos contaminantes, impuestos, salud pública, transparencia y políticas. También se han modelado como variables de influencia a los actores: decisores y proveedores. Las ecuaciones del modelo dinámico se presentan a continuación.

Participación

$$\frac{dPar}{dt} = \frac{dTH}{dt} \quad (\text{Ec. 1})$$

donde:

Par – Participación

T – Transparencia

H – Hábitos

Políticas

$$\frac{dPol}{dt} = C_{Pol} \frac{dD}{dt} \quad (\text{Ec. 2})$$

donde:

Pol – Políticas

D – Decisores

C_{Pol} – Coeficiente de relación entre políticas y decisores (valor inicial 0.5)

Generación per cápita

$$\frac{dGPC}{dt} = C_{GPC} \frac{dN}{dt} \left(\frac{dParPol}{dt} \right)^{-1} \quad (\text{Ec. 3})$$

donde:

GPC – Generación per cápita

N – Nivel de ingreso

C_{GPC} – Coeficiente de ajuste de GPC (valor inicial 0.024455)

Residuos generados

$$\frac{dRS}{dt} = \left(\frac{1}{1000} \times \frac{dGPCPob}{dt} \right) + \frac{dRI}{dt} - \frac{dFT}{dt} - \frac{dPR}{dt} \quad (\text{Ec. 4})$$

donde:

RS – Residuos generados

Pob – Población

RI – Generación informal de residuos

FT – Flujo de residuos por transporte

PR – Producción con M&E de residuos

1/1000 – Constante de conversión de unidades, de kilogramos a toneladas

Regulación

$$\frac{dReg}{dt} = C_{Reg} \frac{dD}{dt} \quad (\text{Ec. 5})$$

donde:

Reg – Regulación

D – Decisores

C_{Reg} – Coeficiente de relación entre regulación y decisores (valor inicial 0.5)

Proveedores

$$\frac{dPro}{dt} = \left(\frac{dM}{dt} + \frac{dE}{dt} + \frac{dTi}{dt} \right) \frac{dReg}{dt} \quad (\text{Ec. 6})$$

donde:

Pro – Proveedores

M – Municipios/Alcaldías con prestan directamente el servicio de residuos
(valor inicial 0.7)

E – Empresas que prestan el servicio de residuos (valor inicial 0.05)

Ti – Trabajadores informales relacionados con el servicio de residuos (valor
inicial 0.25)

Operación

$$\frac{dOpr}{dt} = C_{Opr} \frac{dPro}{dt} \quad (\text{Ec. 7})$$

donde:

Opr – Operación

COpr – Coeficiente de ajuste por operación (valor inicial 2871.22)

Financiamiento

$$\frac{dFin}{dt} = \frac{dPub}{dt} + \frac{dPri}{dt} + \frac{dCoi}{dt} \quad (\text{Ec. 8})$$

donde:

Fin – Financiamiento

Pub – Financiamiento del sector público

Pri – Financiamiento del sector privado

Coi – Financiamiento de la cooperación internacional

Flujo de residuos por transporte

$$\frac{dFT}{dt} = \left[\left(\frac{dRS}{dt} - \frac{dRA}{dt} \right) \left(\frac{dOpr}{dt} \right)^{-1} \right] \frac{dFin}{dt} \quad (\text{Ec. 9})$$

donde:

RA – Residuos aprovechables

Residuos aprovechables

$$\frac{dRA}{dt} = \left(C_{FT} C_{RA} \frac{dFT}{dt} \right) - \frac{dFN}{dt} - \frac{dFME}{dt} \quad (\text{Ec. 10})$$

donde:

FN – Flujo de nutrientes aprovechables

FME – Flujo de materiales y energía aprovechable

C_{FT} – Coeficiente de relación entre residuos aprovechables y flujo de transporte (valor inicial 0.22)

C_{RA} – Coeficiente de ajuste por residuos aprovechables (valor inicial 11187.8)

Residuos contaminantes

$$\frac{dRC}{dt} = C_{1-FT} C_{RC} \frac{dFT}{dt} \quad (\text{Ec. 11})$$

donde:

RC – Residuos contaminantes

C_{1-FT} – Coeficiente de relación entre residuos contaminantes y flujo de transporte, correspondiente al valor complementario de C_{FT} (valor inicial 0.78)

C_{RC} – Coeficiente de ajuste por residuos contaminantes (valor inicial 9664.73)

Salud pública

$$\frac{dSP}{dt} = -C_{SP} \frac{dRC}{dt} \quad (\text{Ec. 12})$$

donde:

SP – Salud pública

C_{SP} – Coeficiente de relación entre salud pública y residuos contaminantes
(valor inicial 0.3)

Ambiente

$$\frac{dA}{dt} = -C_{SP} \frac{dRC}{dt} + C_{FNA} \frac{dFN}{dt} + \frac{dPPR}{dt} \quad (\text{Ec. 13})$$

donde:

A – Ambiente

C_A – Coeficiente de relación entre el ambiente y los residuos contaminantes,
correspondiente al valor complementario de C_{SP} (valor inicial 0.7)

C_{FNA} – Coeficiente de eficiencia en el aprovechamiento de los nutrientes en el
ambiente (valor inicial 0.5)

PPR – Productos para el sector primario derivados de residuos

Gases de efecto invernadero

$$\frac{dGEI}{dt} = C_{GEI} \frac{dA}{dt} \quad (\text{Ec. 14})$$

donde:

GEI – Gases de efecto invernadero

C_{GEI} – Coeficiente de relación entre GEI y ambiente (valor inicial 0.3)

Lixiviados

$$\frac{dLix}{dt} = -C_{Lix} \frac{dA}{dt} \quad (\text{Ec. 15})$$

donde:

Lix – Lixiviados

C_{Lix} – Coeficiente de relación entre lixiviados y ambiente (valor inicial 0.3)

Residuos sólidos

$$\frac{dRes}{dt} = C_{Res} \frac{dA}{dt} \quad (\text{Ec. 16})$$

donde:

Res – Residuos sólidos

C_{Res} – Coeficiente de relación entre residuos sólidos y ambiente (valor inicial 0.4)

Flujo de nutrientes aprovechables

$$\frac{dFN}{dt} = C_{FN} \frac{dRA}{dt} \quad (\text{Ec. 17})$$

donde:

C_{FN} – Coeficiente de relación entre flujo de nutrientes y residuos aprovechables, correspondiente al valor de residuos orgánicos (valor inicial 0.55)

Productos para el sector primario derivado de residuos

$$\frac{dPPR}{dt} = C_{FNP} \frac{dFN}{dt} \quad (\text{Ec. 18})$$

donde:

C_{FNP} – Coeficiente de eficiencia en el aprovechamiento de los nutrientes para elaborar productos primarios de residuos que se apliquen en el ambiente (valor inicial 0.5)

Flujo de materiales y energía aprovechable

$$\frac{dFME}{dt} = C_{FME} \frac{dRA}{dt} \quad (\text{Ec. 19})$$

donde:

C_{FME} – Coeficiente de relación entre flujo de materiales y energía y residuos aprovechables, correspondiente al valor de residuos inorgánicos (valor inicial 0.45)

Materiales y energía perdida

$$\frac{dMEP}{dt} = \frac{dFME}{dt} - \frac{dEDR}{dt} - \frac{dMPR}{dt} \quad (\text{Ec. 20})$$

donde:

MEP- Materiales y energía perdida

EDR – Energía de residuos

MPR – Materia prima de residuos

Energía de residuos

$$\frac{dEDR}{dt} = \frac{C_{EDR}}{2} \frac{dFME}{dt} \quad (\text{Ec. 21})$$

donde:

C_{EDR} – Coeficiente de eficiencia en la transformación de los residuos en energía (valor inicial 0.85)

Materia prima de residuos

$$\frac{dMPR}{dt} = \frac{C_{MPR}}{2} \frac{dFME}{dt} \quad (\text{Ec. 22})$$

donde:

C_{MPR} – Coeficiente de eficiencia en la transformación de los residuos en materia prima (valor inicial 0.60)

Producción M&E de residuos

$$\frac{dPR}{dt} = \frac{dEDR}{dt} + \frac{dMPR}{dt} + \frac{dPPR}{dt} \quad (\text{Ec. 23})$$

La información utilizada para la aplicación y validación del mD-SWM4CDMX es de dos fuentes oficiales: a) los inventarios anuales de residuos sólidos de la Ciudad de México (antes Distrito Federal) del 2006 al 2021 y b) los programas generales de gestión integral de residuos sólidos de la Ciudad de México (antes Distrito Federal) 2004, 2010, 2016 y 2021. Los resultados de los escenarios analizados y la discusión de los mismos se presentan en las secciones siguientes.

Escenarios elaborados con el mD-SWM4CDMX

Las figuras 6 a 8 muestra los resultados de los escenarios analizados del modelo mD-SWM4CDMX sin retroalimentación. El primer escenario sin retroalimentación tendencial (figura 6), muestra como las acciones que se están realizando en la CDMX llevan a una afectación del ambiente, con los respectivos incrementos de los GEI, lixiviados y residuos sólidos no aprovechados, también muestra que a pesar del reducido aprovechamiento de los residuos (22% en promedio), al no estar conectados con el sistema, los resultados quedan aislados. El segundo escenario lineal con mejoras implica la realización de acciones para ir aumentando la cantidad de residuos aprovechados y reducir la cantidad de residuos contaminantes, por ello se realizaron diferentes corridas, ajustando los valores de las proporciones entre residuos recuperables. La figura 7 muestra el resultado del escenario sin retroalimentación con mejoras 50-50 es decir, iguales porcentajes de residuos contaminantes y recuperables, por su parte, la figura 8 muestra un escenario sin retroalimentación en el que se ha llegado a un 60% de aprovechamiento de residuos y un 40% siguen siendo contaminantes, entre estos dos escenarios se identifican cambios en el sistema que serán comentados en la sección de discusión.

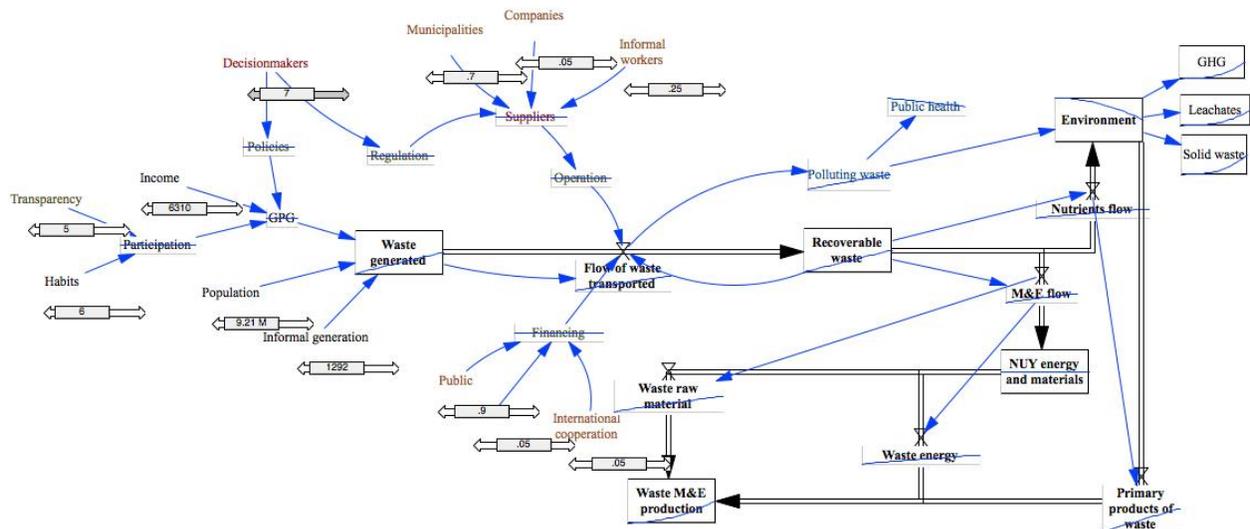


Figura 6. mD-SWM4CDMX escenario sin retroalimentación tendencial

Fuente: elaboración propia

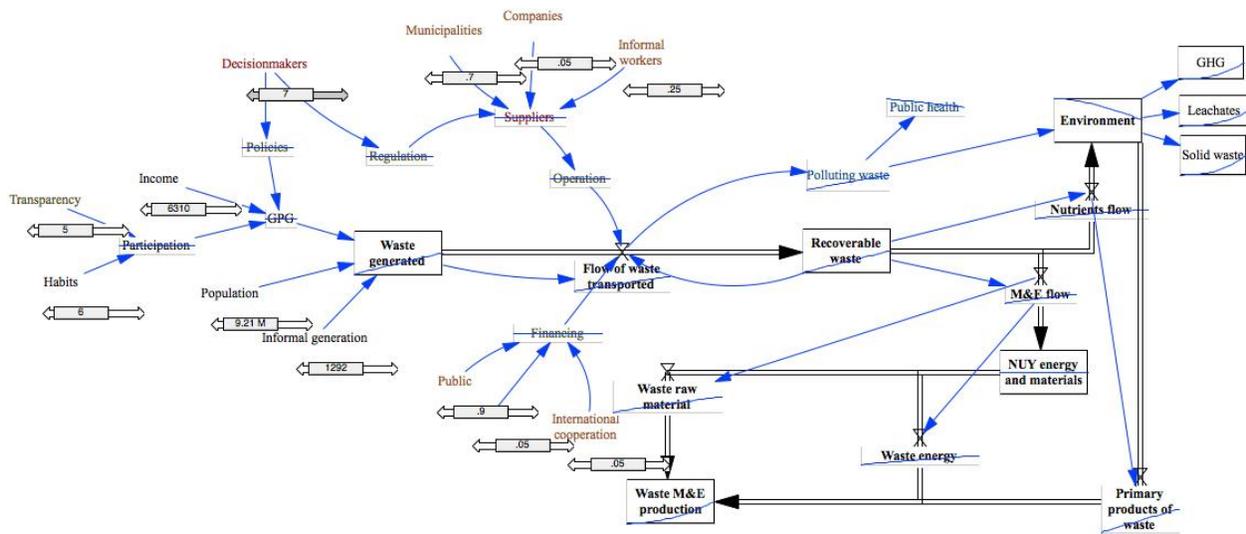


Figura 7. mD-SWM4CDMX escenario sin retroalimentación con mejoras 50-50

Fuente: elaboración propia

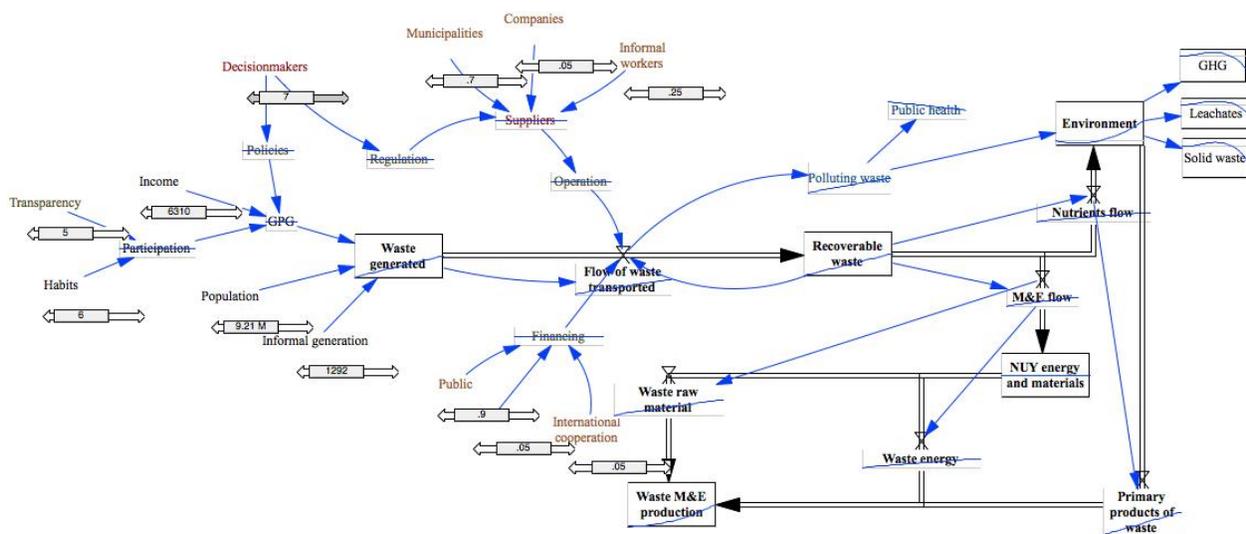


Figura 8. mD-SWM4CDMX escenario sin retroalimentación con mejoras 60-40

Fuente: elaboración propia

El escenario con retroalimentación (sostenible) del mD-SWM4CDMX se muestra en las figuras 9 a 11. La diferencia principal entre el sin retroalimentación y el sostenible, es que en éste último se conecta la cantidad de Producción de materiales y energía de residuos a los Residuos generados, por lo que se integra al sistema los beneficios de estar aprovechando por diversos procesos los residuos. La figura 9 muestra el escenario de gestión sostenible con una proporción con 20% de residuos aprovechables y 80% de

residuos contaminantes, parecido a los datos de la operación actual. Los escenarios mostrados en las figuras 10 y 11, muestran una variación en las proporciones de los residuos aprovechables y contaminantes, en particular la figura 10 la proporción es 50-50, y en la figura 11, se tiene un 70% de residuos aprovechables y un 30% de residuos contaminantes. El análisis de estos resultados se encuentra en la sección de discusión.

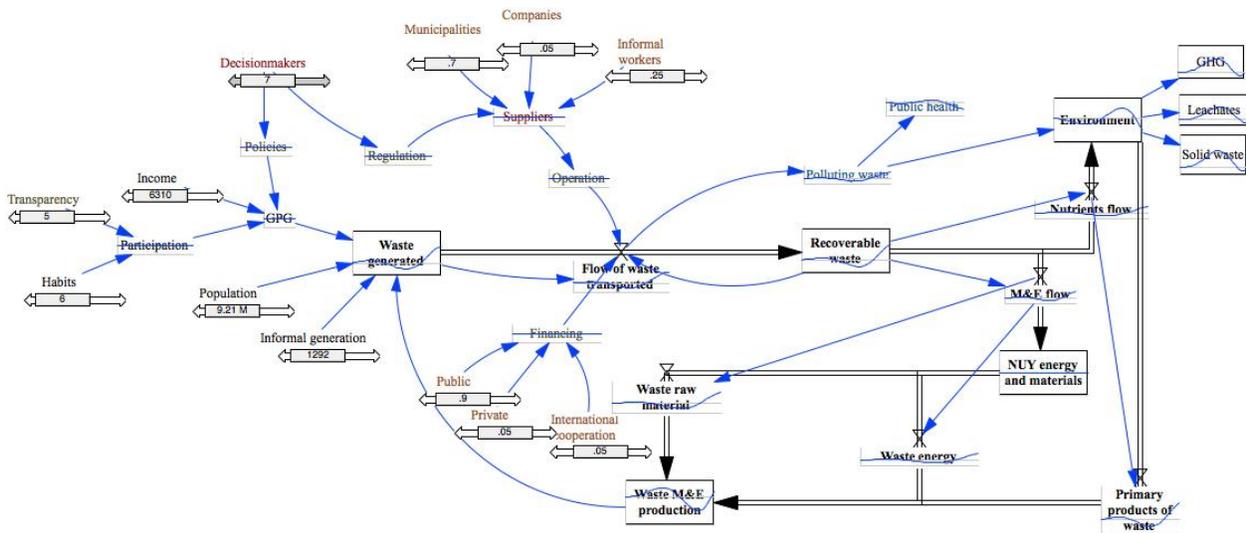


Figura 9. mD-SWM4CDMX escenario sostenibilidad 20-80

Fuente: elaboración propia

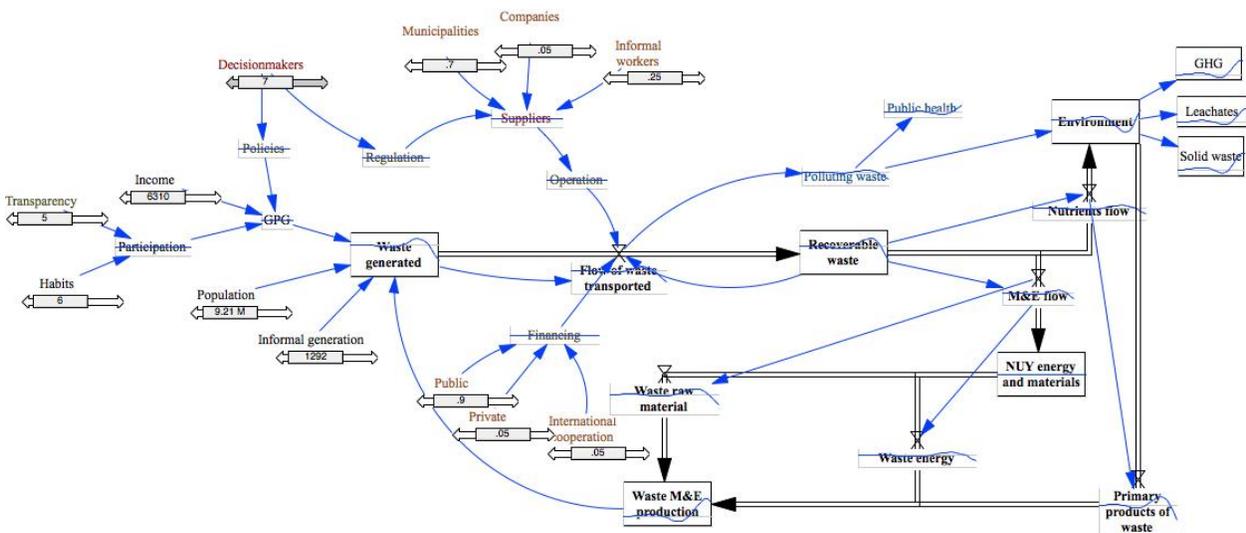


Figura 10. mD-SWM4CDMX escenario sostenibilidad 50-50

Fuente: elaboración propia

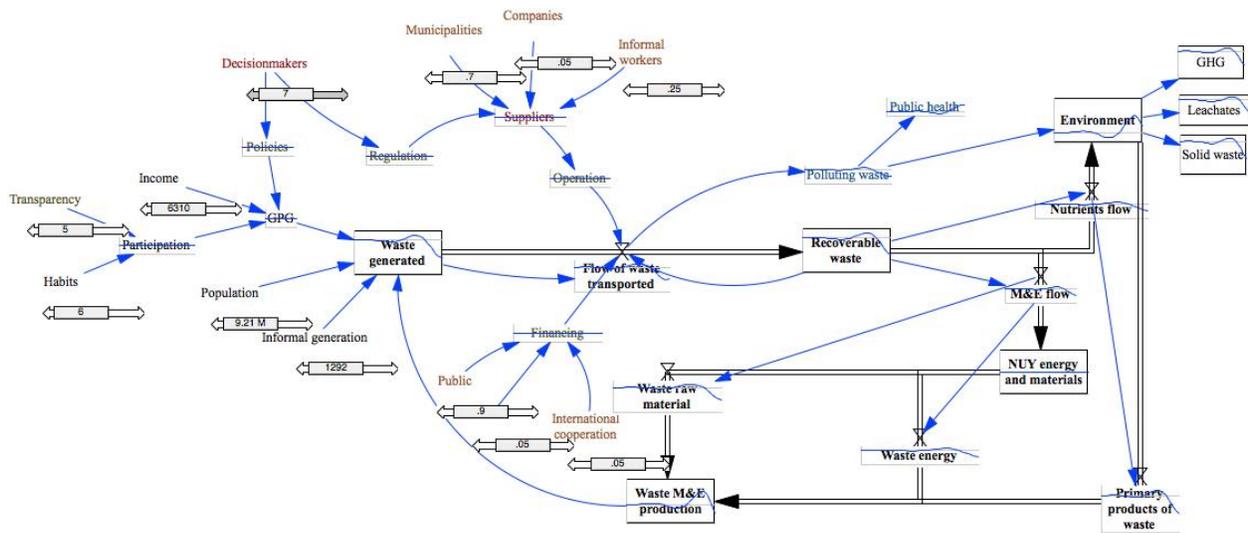


Figura 11. mD-SWM4CDMX escenario sostenibilidad 70-30

Fuente: elaboración propia

Discusión y conclusiones

Discusión del mD-SWM4CDMX

Los resultados de los escenarios elaborados muestran un comportamiento del sistema socioecológico de gestión de residuos en la CDMX que pueden orientar las acciones de las políticas y acciones en los próximos años, para reducir los efectos negativos hacia el ambiente y la salud pública que se están generando. El modelo sin retroalimentación muestra una trayectoria más suave hacia la sostenibilidad a partir de escenarios 60-40, con resultados más estables del comportamiento. Por otra parte, el modelo con retroalimentación (sostenibilidad) presenta el comportamiento de un sistema socioecológico para la gestión de los residuos más complejo, ya que existen comportamientos variables (pe. en escenarios 30-70 y 60-40). Posteriormente, una vez que se logra trascender el límite del escenario 70-30, se muestra una trayectoria hacia la sostenibilidad con mayores efectos positivos que el escenario sin retroalimentación hacia la mejora del ambiente y la salud pública. La Tabla 8 muestra un resumen de las trayectorias de los escenarios realizados, el detalle está en el anexo 3.

Tabla 8. Resultados de los escenarios analizados con el modelo mD-SWM4DMX

Modelo mD-SWM4CDMX	% RA	% RCs	Trayectoria GEI	Trayectoria Lixiviados	Trayectoria Disposición final
SR	10	90	↑	↑	↑
SR	20	80	↑	↑	↑
SR	30	70	↑	↑	↑
SR	40	60	↑	↑	↑
SR	50	50	↑	↑	↑
SR	60	40	↓	↓	↓
SR	70	30	↓	↓	↓
SR	80	20	↓	↓	↓
SR	90	10	↓	↓	↓
CR	10	90	↑	↑	↑
CR	20	80	↑	↑	↑

CR	30	70	→	→	→
CR	40	60	↑	↑	↑
CR	50	50	↑	↑	↑
CR	60	40	→	→	→
CR	70	30	↓	↓	↓
CR	80	20	↓	↓	↓
CR	90	10	↓	↓	↓

Fuente: elaboración propia.

Notas: SR- sin retroalimentación. CR-con retroalimentación. RA-residuos aprovechables. RC-residuos contaminantes.

↑ - **augmenta afectación**, → - **variaciones sin tendencia definida**, ↓ - **disminuye afectación**.

El detalle del comportamiento del modelo mD-SWM4CDMX se presenta en las gráficas del anexo 3.

El escenario sin retroalimentación tanto tendencial como el mejorado con acciones solamente ingenieriles tiene una trayectoria hacia la sostenibilidad suave, es decir, no se identifican variaciones divergentes en el comportamiento de las curvas. El escenario de gestión sostenible presenta en las gráficas una trayectoria variable con cambios abruptos en su comportamiento. La primera reflexión del modelo mD-SWM4CDMX es que al no vincular los esfuerzos que se estén haciendo entre el aprovechamiento de los residuos con la generación de residuos se mantendrán el mismo sistema socioecológico para la gestión de los residuos, variando los resultados en función de las proporciones de residuos que se aprovechen o que generen contaminación. Por otra parte, en el escenario de gestión sostenible de residuos, al incorporar los materiales y energía aprovechada en la generación de residuos inicial, existe un efecto integrado en el comportamiento del sistema socioecológico, en el cual se presentan cambios en el sistema por el efecto de las interacciones de todos los elementos. Por lo que, estaría pendiente de analizar otras variables y parámetros del modelo para identificar las razones del dicho comportamiento, así mismo, para generar alternativas que permitan una trayectoria hacia la sostenibilidad más acelerada y menos variable.

El escenario sin retroalimentación tendencial y el escenario sin retroalimentación con mejoras solamente ingenieriles también muestran variaciones entre sí, relevantes de comentar. Es evidente que de mantener las cosas como están el ambiente seguirá siendo afectado, por consecuencia se incrementarán los GEI, lixiviados y residuos sólidos dispuestos en el suelo, figura 6. El escenario sin retroalimentación con mejoras mantiene la tendencia establecida en el tendencial, hasta la proporción 50-50 (figura 7), situación que se ve modificada cuando la proporción cambia a 60% residuos aprovechables y 40% residuos contaminantes (figura 8). Es decir, existe un umbral de cambio entre el escenario sin retroalimentación con mejoras 50-50 al escenario sin retroalimentación con mejoras 60-40, siendo el escenario sin retroalimentación con mejoras 60-40 cuando después de la mitad del periodo de análisis (a partir de cinco años) se comenzaría a recuperar el ambiente y a reducir la acumulación de GEI, lixiviados y residuos sólidos dispuestos en el suelo. El comportamiento del sistema continúa siendo favorable al ambiente para escenarios con mejoras 70-30, 80-20 y 90-10 (ver figuras en Anexo 3). De lo anterior, se desprende que existe un umbral del sistema socioecológico en la gestión de los residuos para la CDMX cuando se tiene al menos un 60% de residuos recuperables, hacia este escenario deberían analizarse otras variables del modelo para entender que posibles acciones podrían implementarse para alcanzar estos resultados.

El escenario de gestión sostenible tiene un comportamiento más complejo. La figura 9 muestra un comportamiento variable en el tiempo entorno a un valor de equilibrio, con momentos en los que ambiente se ve mejorado y luego un cambio abrupto hacia su detrimento. Por su parte, el escenario sostenibilidad 50-50 tiene un comportamiento diferente, ya que se mantiene bastante estable los primeros 6 años del periodo, posteriormente se identifica un detrimento del ambiente y hacia el último cuarto del periodo la recuperación del ambiente es acelerada, esto se explica por el efecto acumulado en la producción de materiales y energía de los residuos y su impacto en los residuos generados. En cambio, el escenario de gestión sostenible de residuos con 70% de aprovechables y 30 de contaminantes, muestra variaciones del sistema socioecológico con un efecto inverso al escenario 50-50, se observa como pasando los cinco años se reduce ligeramente el ambiente para hacia el año siete recuperarse con una aceleración elevado, llegando a un punto máximo a partir del cual se observa una

ligera caída en el último año del periodo de análisis. Aunque no están evidente como en el escenario lineal 60-40, es que en el escenario de gestión sostenible 70-30 se tiene un umbral de la sostenibilidad del sistema socioecológico. Lo que también es claro en el escenario de gestión sostenible 70-30 es que el área bajo la curva de comportamiento del aspecto ambiente es para el acumulado del periodo de análisis positiva, en contraste con los otros escenarios de gestión sostenible 20-80 y 50-50. Podemos afirmar que el umbral del sistema socioecológico que lo llevaría hacia una trayectoria de sostenibilidad está a partir del 70% de residuos recuperables, considerando el modelo con retroalimentación. Faltaría simular otros escenarios ajustando diferentes variables para identificar si otros umbrales y trayectorias del modelo existen, y cómo podrían alcanzarse.

Conclusiones del desarrollo del modelo GeSRA

La cantidad de residuos que se generan en el mundo continuará aumentando, por lo menos hasta el año 2050. Las soluciones únicamente técnicas al problema perverso de gestión de residuos han demostrado sus limitaciones en el pasado, por lo que resultan cuestionables hacia el largo plazo. En este contexto, el enfoque de sistema socioecológico urbano y el análisis mediante modelación de sistemas dinámicos muestran resultados alentadores como herramientas de aplicación para la delineación de trayectorias hacia la sostenibilidad en la gestión de los residuos.

El enfoque de sustentabilidad de los sistemas socioecológico está en una etapa exploratoria para el análisis de la gestión de los residuos. Existen oportunidades analíticas importantes para continuar avanzando en la profundidad de los modelos de gestión de residuos hacia la sostenibilidad. El análisis multidimensional, multiescalar, multitemporal son perspectivas de estudio en las que se debe avanzar en el conocimiento de las relaciones entre los diferentes elementos del sistema socioecológico urbano en la gestión de residuos. El enfoque sistémico, multidimensional y la modelación dinámica permite integrar las interacciones existentes de los diversos aspectos ambientales, económicos, sociales e infraestructura que ocurren en la gestión de residuos. Los análisis cualitativos y cuantitativos realizados en la investigación de la sostenibilidad en residuos es una forma de profundizar en dos aspectos: a) determinar los conceptos y cómo se están analizando para la gestión de los residuos, y b) identificar los huecos para

profundizar el análisis y las posibles soluciones hacia escenarios de mejora en sostenibilidad.

El análisis con ATLAS.ti ayudó para tener una primera aproximación al relacionamiento de contenidos en artículos. El relacionamiento se estableció mediante los 11 códigos definidos. El análisis de co-ocurrencias mostró que el concepto de Sostenibilidad tiene una relación más fuerte con temas: Ambiental, Económico y Tecnología, y una relación más débil con: Infraestructura, Materiales, Política, Procesos y Social, para el tema de Gestión de residuos ocurre lo contrario. Otro aspecto interesante que resultó del metaanálisis es el hallazgo de la formación de subgrupos, para el caso del Grupo de Sostenibilidad, tuvo como subgrupos: ambiental-económico y política-social, y en el caso, del Grupo de Gestión de residuos, lo conforman los subgrupos: procesos-materiales y tecnología-infraestructura. Es decir, el análisis de los 418 artículos permitió establecer relaciones entre los códigos analizados, identificando inicialmente relacionamientos fuertes por ejemplo entre procesos y materiales o entre gestión de residuos con tecnología, y relaciones más débiles entre otros, por ejemplo entre temas sociales y tecnología o entre sostenibilidad y política.

Por su parte, el modelo dinámico mD-SWM4CDMX del sistema socioecológico para la gestión sostenible de los residuos se presume llena huecos en la literatura, mediante dos características fundamentales: a) plantear claramente los elementos, procesos y actores que interactúan en la gestión de los residuos, y b) integrar mediante un sistema de flujos y almacenamientos el análisis de diferentes aspectos relacionados con la gestión sostenible de los residuos como: sociales, políticos, económicos, financieros, ambientales y técnicos. El modelo mD-SWM4CDMX aplicado requiere ser discutido con actores sociales, políticos y académicos relevantes para mejorar las interacciones y funciones de valor usadas en este documento. Adicionalmente, se requiere la actualización y detalle de información de fuentes directas para el modelo, hacia el mantenimiento del modelo. Los resultados obtenidos y discutidos permiten tener una referencia inicial de las posibles acciones que se podrían tomar hacia una gestión sostenible de los residuos en la CDMX. Los umbrales del 60% de residuos recuperables del modelo sin retroalimentación y el 70% de residuos recuperables del modelo con

retroalimentación, son el inicio para la utilización del modelo mD-SWM4CDMX para profundizar el análisis del sistema socioecológico en gestión de residuos para la CDMX.

Es por ello que, el trabajo desarrollado en la investigación y plasmado en éste documento aporta a la investigación en sostenibilidad de la gestión de los residuos en tres aspectos fundamentales: a) un esfuerzo por analizar, interpretar y sintetizar el trabajo documentado en artículos científicos por aproximadamente 30 años para mejorar la problemática mundial en residuos, aportando en la integración de los hallazgos y brechas identificadas en un modelo multidimensional, b) una metodología del desarrollo de dos modelos para el análisis del sistema socioecológico en gestión de los residuos, el primero, un modelo multidimensional para el análisis en ciudades (m-SWM4Cities), y el segundo, un modelo dinámico aplicado al caso de la Ciudad de México (mD-SWM4CDMX), y c) varios escenarios del comportamiento del sistema socioecológico en gestión de residuos, para identificar tendencias, umbrales y trayectorias que permitirían avanzar hacia la sostenibilidad.

Se desprende de lo anterior que, un primer aporte de esta investigación es de tipo metodológico. Los modelos presentados integran los elementos, actores clave e interacciones desde un enfoque sistémico complementado el modelo de gestión sostenible propuesto de manera teórica-conceptual por otros autores. Ya que, algunos autores previamente habían definido conceptualmente la gestión sustentable de los residuos, pero la integración de los diversos aspectos quedaba en la generalidad o en sentencias de lo que debía ser. El modelo multidimensional es una primera aproximación cualitativa hacia un entendimiento integrado de la complejidad en la gestión sustentable de los residuos. El cual, se consideró como la base para elaborar el modelo dinámico aplicado, en el cual se establecen de manera cuantitativa las relaciones de valor entre los elementos, actores clave e interacciones, para especificar las variaciones en cantidad de residuos en la Ciudad de México ante diferentes escenarios de intervención/acción. En complemento, un segundo aporte de la investigación es exploratorio. Al aplicar el modelo mD-SWM4CDMX del sistema socioecológico para la gestión sostenible de los residuos en la Ciudad de México se tiene información inicial sobre umbrales y trayectorias relacionados con la gestión sostenible de los residuos.

Es importante mencionar, que al menos quedan tres actividades futuras de investigación asociadas con los resultados de este trabajo: a) el modelo aplicado mD-SWM4CDMX requiere ser discutido con actores sociales, políticos y académicos relevantes para afinar las interacciones y funciones de valor usadas en este documento, b) el mantenimiento del modelo, mediante la actualización y detalle de información de fuentes directas para el modelo y c) la aplicación del modelo en otros casos de estudio para realizar análisis particulares y comparativos de su aplicabilidad.

Referencias bibliográficas

- Aleluia, J., & Ferrao, P. (2016). Characterization of urban waste management practices in developing Asian countries: A new analytical framework based on waste characteristics and urban dimension. *Waste Management*(58), 415-429.
- Acevedo, M. F. (2013). *Simulation of ecological and environmental models*. NW, USA: CRC Press.
- Aparcana, S. (2016). Approaches to formalization of the informal waste sector into municipal solid waste management systems in low- and middle-income countries: Review of barriers and success factors. *Waste Management*, 61, 593-607.
- Arora, R., Paterok, K., Banerjee, A., & Saluja, M. (2017). Potential and relevance of urban mining in the context of sustainable cities. *IIMB Management Review*, 29(3), 210-224.
- Asrul, M., Abdul, Z., & Wan, S. (2016). Sustainable Green Management Systems. *Journal of Cleaner Production*(146), 158-172.
- Australian Government. (2007). *Tackling Wicked Problems. A Public Policy Perspective*. Canberra, Australia: Australian Government.
- Blumberga, A., Timma, L., Romagnoli, F., & Blumberga, D. (28 de junio de 2014). Dynamic modelling of a collection scheme of waste portable batteries for ecological and economic sustainability. *Journal of Cleaner Production*, 224-233.
- Baccini, P., & Bruner, P. (2012). *Metabolism of the Anthroposphere: Analysis, evaluation, design* (2nd edition). Cambridge, MA, USA: MIT Press.
- Balint, P. J., Stewart, R. E., Desai, A., & Walters, L. C. (2011). Chapter 2. Risk and uncertainty in environmental management. En P. J. Balint, R. E. Stewart, A. Desai, & L. C. Walters, *Wicked Environmental Problems. Managing uncertainty and conflict*. Washington: Island Press.
- Bogner, J. M. (2007). Waste Management, In *Climate Change 2007: Mitigation. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. En I. P. Change, *Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (págs. 585-618). New York, USA: Cambridge University Press.
- Bogner, J., Pipatti, R., Hashimoto, S., Diaz, C., Mareckova, K., Diaz, L., . . . Gregory, R. (1 de 2 de 2008). Mitigation of global greenhouse gas emissions from waste: conclusions and strategies from the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) Fourth Assessment Report. Working Group III (Mitigation). *Waste Management & Research*.
- Brandén Klang, A., Vikman, P.-A., & Brattebo, H. (7 de julio de 2008). Sustainable management of combustible household waste—Expanding the integrated evaluation model. *Resources, Conservation and Recycling*, 1101-1111.
- Brandt, P., Ernst, A., Gralla, F., Luederitz, C., Lang, D. J., Newig, J., . . . von Wehrden, H. (18 de mayo de 2013). A review of transdisciplinary research in sustainability science. *Ecological Economics*, 1-15.
- Calvo, N., Varela-Candamio, L., & Novo-Corti, I. (20 de enero de 2014). A Dynamic Model for Construction and Demolition (C&D) Waste Management in Spain: Driving Policies Based on Economic Incentives and Tax Penalties. *Sustainability*, 416-435.

- Cash, D. W., Clark, W. C., Alcock, F., Dickson, N. M., Eckley, N., Guston, D. H., . . . Mitchell, R. B. (7 de marzo de 2003). Knowledge systems for sustainable development. *PNAS*, 8086-8091.
- Chen, X., Pang, J., Zhang, Z., & Li, H. (15 de diciembre de 2014). Sustainability Assessment of Solid Waste Management in China: A Decoupling and Decomposition Analysis. *Sustainability*, 9268-9281.
- Cointreau, S. (2006). Occupational and environmental health issues of solid waste management. Special emphasis on middle-and lower-income countries. Washington, DC, USA: World Bank.
- Comparetti, A., Febo, P., Greco, C., Navickas, K., Nekrosius, A., Orlando, S., & Venslauskas, K. (11 de septiembre de 2014). ASSESSMENT OF ORGANIC WASTE MANAGEMENT METHODS THROUGH ENERGY BALANCE. *American Journal of Applied Sciences*, 1631-1644.
- Couto, N., Silva, V., Monteiro, E., Teixeira, S., Chacartegui, R., Bouziane, K., . . . Rouboa, A. (27 de diciembre de 2014). Numerical and experimental analysis of municipal solid wastes gasification process. *Applied Thermal Engineering*, 185-195.
- Cucchiella, F., D'Adamo, I., & Gastaldi, M. (11 de noviembre de 2016). Sustainable waste management: Waste to energy plant as an alternative to landfill. *Energy Conversion and Management*, 18-31.
- Delgado, G. (marzo de 2015). Complejidad e interdisciplinar en las nuevas perspectivas socioecológicas: la ecología política del metabolismo urbano. *Letras verdes. Revista latinoamericana de estudios socioambientales*(17), 108-130.
- Delgado, G., Imaz, M., & Beristain, A. (2015). La sustentabilidad en el siglo XXI. *Interdisciplina*, 3(7), 9-21.
- Dongo, K., Kone, A., Tiembre, I., Biemi, J., Tanner, M., Zinsstag, J., & Cisse, G. (noviembre-diciembre de 2009). Exposition environnementale à des déchets contenant du mercaptan, des hydrocarbures aromatiques et de l'hydrogène sulfuré (Abidjan). *Environnement, Risques & Santé*, 8(6), 519-527.
- Ezeah, C., & Roberts, C. (2014). Waste governance agenda in Nigerian cities: A comparative analysis. *Habitat International*(41), 121-128.
- Ferronato, N., Rada, E., Gorrity Portillo, M., Cioca, L., Ragazzi, M., & Torretta, V. (15 de 1 de 2019). Introduction of the circular economy within developing regions: A comparative analysis of advantages and opportunities for waste valorization. *Journal of Environmental Management*, 230, 366-378.
- Fischer, J., Gardner, T. A., Bennett, E. M., Balvanera, P., Biggs, R., Carpenter, S., . . . Tenhunen, J. (2 de junio de 2015). Advancing sustainability through mainstreaming a social-ecological systems perspective. *Environmental Sustainability*, 144-149.
- Freinkel, S. (2011). *Plastic: a toxic love story*. New York, USA: Houghton Mifflin Harcourt.
- Fruergaard, T., Hyks, J., & Astrup, T. (2010). Life-cycle assessment of selected management options for air pollution control residues from waste incineration. *Science of the Total Environment*, 4672-4680.
- García, R. (2011). Interdisciplinariedad y sistemas complejos. *Revista latinoamericana de metodología de las ciencias sociales*, 1(1), 64-79.

- Gellynck, X., Jacobsen, R., & Verhelst, P. (24 de junio de 2011). Identifying the key factors in increasing recycling and reducing residual household waste: A case study of the Flemish region of Belgium. *Journal of Environmental Management*, 2683-2690.
- Generowicz, A., Kulczycka, J., Kowalski, Z., & Banach, M. (12 de enero de 2011). Assessment of waste management technology using BATNEEC options, technology quality method and multi-criteria analysis. *Journal of Environmental Management*, 1314-1320.
- Geyer, R., Jambeck, J., & Lavender Law, K. (2017). Production, use and fate of all plastics ever made. *Science Advances*, 3(7), 782.
- Ghinea, C., Niculina Dragoi, E., Comanita, E.-D., Gavrilescu, M., Campean, T., Curteanu, S., & Gavrilescu, M. (22 de julio de 2016). Forecasting municipal solid waste generation using prognostic tools and regression analysis. *Journal of Environmental Management*, 80-93.
- Gobierno del Distrito Federal. (1 de octubre de 2004). Acuerdo por el que se aprueba y expide el Programa General de Gestión Integral de Residuos Sólidos. *Gaceta Oficial del Distrito Federal(101-BIS)*, págs. 6-107.
- Gobierno del Distrito Federal. (13 de septiembre de 2010). Acuerdo por el que se aprueba y expide el Programa de Gestión Integral de los Residuos Sólidos para el Distrito Federal. *Gaceta Oficial del Distrito Federal(925)*, págs. 2-68.
- Gobierno de la Ciudad de México. (2014). Programa de Acción Climática de la Ciudad de México 2014-2020. México: Gobierno de la Ciudad de México.
- Gobierno de la Ciudad de México. (19 de octubre de 2016). Acuerdo por el que se aprueba y expide el Programa de Gestión Integral de los Residuos Sólidos para la Ciudad de México 2016-2020. *Gaceta Oficial de la Ciudad de México(183)*, págs. 1-62.
- Gobierno de la Ciudad de México. (2017). Constitución Política de la Ciudad de México. México: Gobierno de la Ciudad de México.
- Gouveia, N. (2012). Resíduos sólidos urbanos: impactos socioambientais e perspectiva de manejo sustentável com inclusão social. *Ciência & Saúde Coletiva*, 17(6), 1503-1510.
- Graedel, T., & Allenby, B. (2010). *Industrial Ecology and Sustainable Engineering*. USA: Pearson.
- Guibrunet, L., Sanzana Calvet, M., & Castan Broto, V. (10 de 2017). Flows, system boundaries and the politics of urban metabolism: Waste management in Mexico City and Santiago de Chile. *Geoforum*, 85, 353-367.
- Gutberlet, J. (11 de 2015). Cooperative urban mining in Brazil: Collective practices in selective household waste collection and recycling. *Waste Management*, 45, 22-31.
- Hadidi, L. A., & Mahmoud Omer, M. (20 de octubre de 2016). A financial feasibility model of gasification and anaerobic digestion waste-to-energy (WTE) plants in Saudi Arabia. *Waste Management*, 90-101.
- Hoorweg, D., & Bhada-Tata, P. (2012). *What a Waste. A Global Review of Solid Waste Management*. Washington, DC, USA: World Bank.
- Hu, Y., & Poustie, M. (9 de 2018). Urban mining demonstration bases in China: A new approach to the reclamation of resources. *Waste Management*, 79, 689-699.

- Hung, M.-L., Ma, H.-w., & Yang, W.-F. (10 de marzo de 2006). A novel sustainable decision making model for municipal solid waste management. *Waste Management*, 209-219.
- Huybrechts, D., Verachtert, E., Vander Aa, S., Polders, C., & Van den Abeele, L. (2016). Polluted rainwater runoff from waste recovery and recycling companies: Determination of emission levels associated with the best available techniques. *Waste Management*(54), 74-82.
- Ibanescu, D., Cailean, D., Teodosiu, C., & Fiore, S. (2018). Assessment of the waste electrical and electronic equipment management systems profile and sustainability in developed and developing European Union countries. *Waste Management*(73), 39-53.
- Ikhlayel, M. (2018). Development of management systems for sustainable municipal solid waste in developing countries: a systematic life cycle thinking approach. *Journal of Cleaner Production*(180), 571-586.
- Jouhara, H., Czajczynska, D., Ghazal, H., Krzyzyska, R., Anguilano, L., Reynolds, A., & Spencer, N. (2017). Municipal waste management systems for domestic use. *Energy*(139), 485-506.
- Klenk, N., Meehan, K., Lee Pinel, S., Mendez, F., Torres Lima, P., & Kammen, D. M. (13 de noviembre de 2015). Stakeholders in climate science: Beyond lip service? *Global Change Science*, 743-744.
- Kaza, S., Yao, L., Bhada-Tata, P., & Van Woerden, F. (2018). What a waste 2.0. A global snapshot of solid waste management to 2050. Washington, DC, U.S.A.: World Bank Group.
- Kaza, S., Yao, L., Bhata-Tata, P., & Van Woerden, F. (2018). What a Waste 2.0. A Global Snapshot of Solid Waste Management to 2050. Washington, DC, USA: World Bank.
- Kaza, S., Yao, L., Bhata-Tata, P., & Van Woerden, F. (2018). What a Waste 2.0. A Global Snapshot of Solid Waste Management to 2050. Washington, DC, USA: World Bank.
- Krasniq, I., Krasniqi, D., & Krasniqi, G. (2013). Strategic Local Governance Policy and Waste Management - Prishtina Municipality Case. 15th Workshop on International Stability, Technology, and Culture. Kosovo: The International Federation of Automatic Control.
- Lacoste, E., & Chalmin, P. (2016). From waste to resource: 2006 World Waste Survey. Paris: Ciclope/Veolia.
- La Jornada. (2017). La Jornada. Obtenido de La Jornada en línea: <http://www.jornada.unam.mx/2011/12/20/capital/031n1cap>
- LaVigne, A., & Stuntz, L. (2016). Model Mysteries. Massachusetts, USA: Creative Learning Exchange.
- Levin, S., Xepapadeas, T., Crepin, A.-S., Norberg, J., de Zeeuw, A., Folke, C., . . . Walker, B. (2012). Social-ecological systems as complex adaptative systems: modeling and policy implications. *Environmental and Development Economics*, 111-132.
- Lopes Ferri, G., Diniz Chaves, G., & Mattos Ribeiro, G. (enero/marzo de 2015). Análise e localização de centros de armazenamento e triagem de resíduos sólidos urbanos para a rede de logística reversa: um estudo de caso no município de São Mateus, ES. *Production*, 27-42.

- Mannschatz, T., Wolf, T., & Hülsmann, S. (21 de noviembre de 2015). Nexus Tools Platform: Web-based comparison of modelling tools for analysis of water-soil-waste nexus. *Environmental Modelling & Software*, 137-153.
- Marino, C., Nucera, A., Nucera, G., & Pietrafesa, M. (1 de septiembre de 2017). Economic, energetic and environmental analysis of the waste management system of Reggio Calabria. *International Journal of Heat and Technology*, 108-116.
- Marmolejo, L. (2013). Systemic analysis of municipal solid waste management facility sustainability in municipalities with populations below 20,000 inhabitants. *Ingeniería y Competitividad*, 15(2), 253-263.
- Mausser, W., Klepper, G., Rice, M., Schmalzbauer, B. S., Hackmann, H., Leemans, R., & Moore, H. (26 de julio de 2013). Transdisciplinary global change research: the co-creation of knowledge for sustainability. *Environmental Sustainability*, 420-431.
- Mendoza Reyes, M. A. (Sf). Tesis: Modelado dinámico de osciladores. Estado de México: UAEM.
- Moore, S. (13 de 3 de 2012). Garbage matters: Concepts in new geographies of waste. *Progress in Human Geography*.
- Ogata, K. (1987). *Dinámica de sistemas*. México: Prentice Hall.
- Ostrom, E. (2009). A general framework for analyzing sustainability of socio-ecological systems. *Science*(325), 419-422.
- Oswald, U. (2015). México ante el reto del cambio climático: una transición a la sustentabilidad con equidad y desarrollo. México: UNAM.
- Pumpinyo, S., & Nitivattananon, V. (13 de octubre de 2014). Investigation of Barriers and Factors Affecting the Reverse Logistics of Waste Management Practice: A Case Study in Thailand. *Sustainability*, 7048-7062.
- Rizwan, M., Saif, Y., Almansoori, A., & Elkamel, A. (2 de noviembre de 2017). Optimal processing route for the utilization and conversion of municipal solid waste into energy and valuable products. *Journal of Cleaner Production*, 857-867.
- Secretaría del Medio Ambiente. (2006). *Inventario de Residuos Sólidos*. Distrito Federal, México: Gobierno del Distrito Federal.
- Secretaría del Medio Ambiente. (2007). *Inventario de Residuos Sólidos*. Distrito Federal, México: Gobierno del Distrito Federal.
- Secretaría del Medio Ambiente. (2008). *Inventario de Residuos Sólidos*. Distrito Federal, México: Gobierno del Distrito Federal.
- Secretaría del Medio Ambiente. (2009). *Inventario de Residuos Sólidos*. Distrito Federal, México: Gobierno del Distrito Federal.
- Secretaría del Medio Ambiente. (2010). *Inventario de Residuos Sólidos*. Distrito Federal, México: Gobierno del Distrito Federal.
- Secretaría del Medio Ambiente. (2011). *Inventario de Residuos Sólidos*. Distrito Federal, México: Gobierno del Distrito Federal.
- Secretaría del Medio Ambiente. (2012). *Inventario de Residuos Sólidos*. Distrito Federal, México: Gobierno del Distrito Federal.
- Secretaría del Medio Ambiente. (2013). *Inventario de Residuos Sólidos*. Distrito Federal, México: Gobierno del Distrito Federal.
- Secretaría del Medio Ambiente. (2014). *Inventario de Residuos Sólidos*. Ciudad de México, México: Gobierno de la Ciudad de México.

- Secretaría del Medio Ambiente. (2015). Inventario de Residuos Sólidos. Ciudad de México, México: Gobierno de la Ciudad de México.
- Secretaría del Medio Ambiente. (2016). Inventario de Residuos Sólidos. Ciudad de México, México: Gobierno de la Ciudad de México.
- Secretaría del Medio Ambiente. (2017). Inventario de Residuos Sólidos. Distrito Federal, México: Gobierno del Distrito Federal.
- Secretaría del Medio Ambiente. (2018). Inventario de Residuos Sólidos. Ciudad de México, México: Gobierno de la Ciudad de México.
- Secretaría del Medio Ambiente. (2019). Inventario de Residuos Sólidos. Ciudad de México, México: Gobierno de la Ciudad de México.
- Secretaría del Medio Ambiente. (2020). Inventario de Residuos Sólidos. Ciudad de México, México: Gobierno de la Ciudad de México.
- Secretaría del Medio Ambiente. (2021). Inventario de Residuos Sólidos. Ciudad de México, México: Gobierno de la Ciudad de México.
- Seadon, J. (2010). Sustainable waste management systems. *Journal of Cleaner Production*, 1639-1651.
- SEMARNAT. (2001). Guía para la gestión integral de los residuos sólidos municipales. México, México: SEMARNAT.
- SEMARNAT. (2014). Programa Especial de Cambio Climático 2014-2018. México: SEMARNAT.
- Shi, H., Liu, H.-C., Li, P., & Xu, X.-G. (17 de noviembre de 2016). An integrated decision making approach for assessing healthcare waste treatment technologies from a multiple stakeholder. *Waste Management*, 508-517.
- Shiflet, A. B., & Shiflet, G. W. (2006). Introduction to computational science. Modeling and simulations for the sciences. New Jersey, USA: Princeton University Press.
- Shiflet, A., & Shiflet, G. (2006). Introduction to computational science. Modeling and simulation for the sciences. New Jersey, USA: Princeton University.
- Stokols, D. (22 de junio de 2006). Toward a science of transdisciplinary action research. *Am J Community Psychol*, 291-308.
- Tenorio Gonçalves, A. T., Ferreira Moraes, F. T., Lima Marques, G., Palma Lima, J., & da Silva Lima, R. (2018). Urban solid waste challenges in the BRICS countries: a systematic literature review. *Ambiente & Água - An Interdisciplinary Journal of Applied Science*, 13(2), 1-20.
- Thompson, A. (September, 2nd de 2014: de 2014). Climate central. Recuperado el 4 de 9 de 2019, de Climate central: <https://www.climatecentral.org/news/where-trash-is-a-burning-problem-17973>
- Vitorino de Souza Melare, A., Montenegro Gonzalez, S., Faceli, K., & Casadei, V. (2017). Technologies and decision support systems to aid solid-waste management: a systematic review. *Waste Management*(59), 567-584.
- Wang, J., Wu, H., Duan, H., Zillante, G., Zuo, J., & Yuan, H. (14 de noviembre de 2017). Combining life cycle assessment and Building Information Modelling to account for carbon emission of building demolition waste: A case study. *Journal of Cleaner Production*, 3154-3166.
- Woon, K. S., & Lo, I. M. (5 de enero de 2016). An integrated life cycle costing and human health impact analysis of municipal solid waste management options in Hong Kong using modified eco-efficiency indicator. *Resources, conservation and recycling*, 104-114.

Yuan, H. (28 de 02 de 2012). A model for evaluating the social performance of construction waste management. *Waste Management*(32), 11.

Anexo 1. Referencias bibliográficas con las que se elaboró el Metaanálisis con Atlas.ti

- Abd'Razack, N. T. A., Medayese, S. O., Shaibu, S. I., & Adeleye, B. M. (2017). Habits and benefits of recycling solid waste among households in Kaduna, North West Nigeria. *Sustainable Cities and Society*, 28, 297–306. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2016.10.004>
- Abila, N. (2014). Managing municipal wastes for energy generation in Nigeria. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 37, 182–190. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.05.019>
- Agamuthu, P. (2008). Challenges in sustainable management of construction and demolition waste. *Waste Management and Research*, 26(6), 491–492. <https://doi.org/10.1177/0734242X08100096>
- Agovino, M., D'Uva, M., Garofalo, A., & Marchesano, K. (2018). Waste management performance in Italian provinces: Efficiency and spatial effects of local governments and citizen action. *Ecological Indicators*, 89(February), 680–695. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2018.02.045>
- Aleluia, J., & Ferrão, P. (2016). Characterization of urban waste management practices in developing Asian countries: A new analytical framework based on waste characteristics and urban dimension. *Waste Management*, 58, 415–429. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2016.05.008>
- Aleluia, J., & Ferrão, P. (2017). Assessing the costs of municipal solid waste treatment technologies in developing Asian countries. *Waste Management*, 69, 592–608. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2017.08.047>
- Allegrini, E., Vadenbo, C., Boldrin, A., & Astrup, T. F. (2015). Life cycle assessment of resource recovery from municipal solid waste incineration bottom ash. *Journal of Environmental Management*, 151, 132–143. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2014.11.032>
- Alsalamy, Z. H. A. (2017). Study the effect of partially replacement sand by waste pistachio shells in cement mortar. *Applied Adhesion Science*, 5(1), 1–12. <https://doi.org/10.1186/s40563-017-0099-3>
- Andreoni, V., Saveyn, H. G. M., & Eder, P. (2015). Polyethylene recycling: Waste policy scenario analysis for the EU-27. *JOURNAL OF ENVIRONMENTAL MANAGEMENT*, 158, 103–110. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2015.04.036>
- Aparcana, S. (2017). Approaches to formalization of the informal waste sector into municipal solid waste management systems in low- and middle-income countries : Review of barriers and success factors. *Waste Management*, 61, 593–607. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2016.12.028>
- Arbuliç, I., Lozano, J., & Rey-Maqueira, J. (2017). The challenges of tourism to waste-to-energy public-private partnerships. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 72(October 2016), 916–921. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.01.036>
- Arias, O., Viña, S., Uzal, M., & Soto, M. (2017). Composting of pig manure and forest green waste amended with industrial sludge. *Science of the Total Environment*, 586, 1228–1236. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.02.118>

- Asif, M., Ahmad, F., Tariq, M., Khan, A., Ansari, T., Khan, F., & Siddiqui, A. M. (2017). Potential of chitosan alone and in combination with agricultural wastes against the root-knot nematode, *Meloidogyne incognita* infesting eggplant. *Journal of Plant Protection Research*, 57(3), 288–295. <https://doi.org/10.1515/jppr-2017-0041>
- Avellán, T., Roidt, M., Emmer, A., von Koerber, J., Schneider, P., & Raber, W. (2017). Making the Water-Soil-Waste Nexus work: Framing the boundaries of resource flows. *Sustainability (Switzerland)*, 9(10), 2018–2028. <https://doi.org/10.3390/su9101881>
- Awe, O. W., Zhao, Y., Nzihou, A., Pham Minh, D., & Lyczko, N. (2018). Anaerobic co-digestion of food waste and FOG with sewage sludge—realising its potential in Ireland. *International Journal of Environmental Studies*, 75(3), 496–517. <https://doi.org/10.1080/00207233.2017.1380335>
- Awodele, O., Adewoye, A. A., & Oparah, A. C. (2016). Assessment of medical waste management in seven hospitals in Lagos, Nigeria. *BMC Public Health*, 16(1), 1–11. <https://doi.org/10.1186/s12889-016-2916-1>
- Azevedo, G. O. D. De, Kiperstok, A., Moraes, L. R. S., Oliveira, G., De Azevedo, D., Roberto, L., & Moraes, S. (2006). Resíduos da construção civil em Salvador: os caminhos para uma gestão sustentável. *Engenharia Sanitaria E Ambiental*, 11(1), 65–72. <https://doi.org/10.1590/S1413-41522006000100009>
- Baaki, T. K., Mohamad Rizal Baharum, & Farid Wajdi Akashah. (2017). Critical Success Factors of Medical Waste Management Implementation in Healthcare Facilities in Nigeria : A Case Study. *Journal of Design and Built Environment*, 17(June), 18–35.
- Babbitt, C. W. (2017). Foundations of sustainable food waste solutions: innovation, evaluation, and standardization. *Clean Technologies and Environmental Policy*, 19(5), 1255–1256. <https://doi.org/10.1007/s10098-017-1364-7>
- Baillie, C., Matovic, D., Thamae, T., & Vaja, S. (2011). Waste-based composites - Poverty reducing solutions to environmental problems. *Resources, Conservation and Recycling*, 55(11), 973–978. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2011.05.006>
- Bajić, B. Z., Dodić, S. N., Vučurović, D. G., Dodić, J. M., & Grahovac, J. A. (2015). Waste-to-energy status in Serbia. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 50, 1437–1444. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.05.079>
- Bakhiyi, B., Gravel, S., Ceballos, D., Flynn, M. A., & Zayed, J. (2018). Has the question of e-waste opened a Pandora's box? An overview of unpredictable issues and challenges. *Environment International*, 110(August 2017), 173–192. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2017.10.021>
- Ballardo, C., Abraham, J., Barrena, R., Artola, A., Gea, T., & Sánchez, A. (2016). Valorization of soy waste through SSF for the production of compost enriched with *Bacillus thuringiensis* with biopesticide properties. *Journal of Environmental Management*, 169, 126–131. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2015.12.029>
- Barrington, D. J., Reichwaldt, E. S., & Ghadouani, A. (2013). The use of hydrogen peroxide to remove

- cyanobacteria and microcystins from waste stabilization ponds and hypereutrophic systems. *Ecological Engineering*, 50, 86–94. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2012.04.024>
- Bees, A. D., & Williams, I. D. (2017). Explaining the differences in household food waste collection and treatment provisions between local authorities in England and Wales. *WASTE MANAGEMENT*, 70, 222–235. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2017.09.004>
- Bellemare, M. F., Çakir, M., Peterson, H. H., Novak, L., & Rudi, J. (2017). On the Measurement of Food Waste. *American Journal of Agricultural Economics*, 99(5), 1148–1158. <https://doi.org/10.1093/ajae/aax034>
- Benarchid, Y., Taha, Y., Argane, R., & Benzaazoua, M. (2018). Application of Quebec recycling guidelines to assess the use feasibility of waste rocks as construction aggregates. *Resources Policy*, (October 2017), 0–1. <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2018.01.004>
- Bernardo, M., Gomes, M. C., & de Brito, J. (2016). Demolition waste generation for development of a regional management chain model. *Waste Management*, 49, 156–169. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2015.12.027>
- Bivainis, J., & Podgaiskytė, V. (2010). Komunalinių atliekų tvarkymo struktūrinė analizė. *Verslas: Teorija Ir Praktika*, 11(4), 323–334. <https://doi.org/10.3846/btp.2010.35>
- Blasco, L., Kahala, M., Tampio, E., Ervasti, S., Paavola, T., Rintala, J., & Joutsjoki, V. (2014). Dynamics of microbial communities in untreated and autoclaved food waste anaerobic digesters. *Anaerobe*, 29, 3–9. <https://doi.org/10.1016/j.anaerobe.2014.04.011>
- Blumberga, A., Timma, L., Romagnoli, F., & Blumberga, D. (2015). Dynamic modelling of a collection scheme of waste portable batteries for ecological and economic sustainability. *JOURNAL OF CLEANER PRODUCTION*, 88, 224–233. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.06.063>
- Bo, Z., Wei-min, C., & Pin-jing, H. (2007). Influence of lactic acid on the two-phase anaerobic digestion of kitchen wastes. *Journal of Environmental Sciences*, 19(2), 244–249. [https://doi.org/10.1016/S1001-0742\(07\)60040-0](https://doi.org/10.1016/S1001-0742(07)60040-0)
- Bolzonella, D., Fatone, F., Gottardo, M., & Frison, N. (2018). Nutrients recovery from anaerobic digestate of agro-waste: Techno-economic assessment of full scale applications. *Journal of Environmental Management*, 216, 111–119. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.08.026>
- Borthakur, A., & Govind, M. (2018). Computer and mobile phone waste in urban India: an analysis from the perspectives of public perception, consumption and disposal behaviour. *Journal of Environmental Planning and Management*, 0(0), 1–24. <https://doi.org/10.1080/09640568.2018.1429254>
- Bouzalakos, S., Dudeney, A. W. L., & Chan, B. K. C. (2016). Leaching characteristics of encapsulated controlled low-strength materials containing arsenic-bearing waste precipitates from refractory gold bioleaching. *JOURNAL OF ENVIRONMENTAL MANAGEMENT*, 176, 86–100. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2016.03.033>
- Bovea, M. D., & Powell, J. C. (2016). Developments in life cycle assessment applied to evaluate the

- environmental performance of construction and demolition wastes. *Waste Management*, 50, 151–172. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2016.01.036>
- Calabrò, P. S., Paone, E., & Komilis, D. (2018). Strategies for the sustainable management of orange peel waste through anaerobic digestion. *Journal of Environmental Management*, 212, 462–468. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.02.039>
- Calva-Alejo, C. L., & Rojas-Caldelas, R. I. (2014). Diagnóstico de la Gestión de Residuos Sólidos Urbanos en el Municipio de Mexicali, México: Retos para el Logro de una Planeación Sustentable. *Información Tecnológica*, 25(3), 59–72. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642014000300009>
- Calvo, N., Varela-Candamio, L., & Novo-Corti, I. (2014). A dynamic model for construction and demolition (C&D) waste management in Spain: Driving policies based on economic incentives and tax penalties. *Sustainability (Switzerland)*, 6(1), 416–435. <https://doi.org/10.3390/su6010416>
- Caniato, M., Tudor, T., & Vaccari, M. (2015a). International governance structures for health-care waste management: A systematic review of scientific literature. *Journal of Environmental Management*, 153, 93–107. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2015.01.039>
- Caniato, M., Tudor, T., & Vaccari, M. (2015b). Understanding the perceptions, roles and interactions of stakeholder networks managing health-care waste: A case study of the Gaza Strip. *WASTE MANAGEMENT*, 35, 255–264. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2014.09.018>
- Castro, M. A. de O. e, Silva, N. M. da, & Marchand, G. A. E. L. (2015). Desenvolvendo indicadores para a gestão sustentável de resíduos sólidos nos municípios de Iranduba, Manacapuru e Novo Airão, Amazonas, Brasil. *Engenharia Sanitaria E Ambiental*, 20(3), 415–426. <https://doi.org/10.1590/S1413-41522015020000109837>
- Castro, S., Davis, L. C., & Erickson, L. E. (2005). Natural, cost-effective, and sustainable alternatives for treatment of aircraft deicing fluid waste. *Environmental Progress*, 24(1), 26–33. <https://doi.org/10.1002/ep.10059>
- Chacartegui, R., Carvalho, M., Abrahão, R., & Becerra, J. (2015). Analysis of a CHP plant in a municipal solid waste landfill in the South of Spain. *Applied Thermal Engineering*, 91, 706–717. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2015.08.069>
- Chen, X., Pang, J., Zhang, Z., & Li, H. (2014). Sustainability Assessment of Solid Waste Management in China: A Decoupling and Decomposition Analysis. *SUSTAINABILITY*, 6(12), 9268–9281. <https://doi.org/10.3390/su6129268>
- Cheng, J. Y. K., Chiu, S. L. H., & Lo, I. M. C. (2017). Effects of moisture content of food waste on residue separation, larval growth and larval survival in black soldier fly bioconversion. *WASTE MANAGEMENT*, 67, 315–323. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2017.05.046>
- Chester, M., & Martin, E. (2009). Cellulosic Ethanol from Municipal Solid Waste: A Case Study of the Economic, Energy, and Greenhouse Gas Impacts in California. *Environmental Science & Technology*, 43(14), 5183–5189. <https://doi.org/10.1021/es802788z>
- Christoforou, E., Kyllili, A., & Fokaidis, P. A. (2016). Technical and economical evaluation of olive mills

- solid waste pellets. *Renewable Energy*, 96, 33–41. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2016.04.046>
- Ciplak, N., & Kaskun, S. (2015). Healthcare waste management practice in the West Black Sea Region, Turkey: A comparative analysis with the developed and developing countries. *Journal of the Air & Waste Management Association*, 65(12), 1387–1394. <https://doi.org/10.1080/10962247.2015.1076539>
- Coker, A., Sangodoyin, A., Sridhar, M., Booth, C., Olomolaiye, P., & Hammond, F. (2009). Medical waste management in Ibadan, Nigeria: Obstacles and prospects. *Waste Management*, 29(2), 804–811. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2008.06.040>
- Comparetti, A., Febo, P., Greco, C., Navickas, K., Nekrosius, A., Orlando, S., & Venslauskas, K. (2014). Assessment of organic waste management methods through energy balance. *American Journal of Applied Sciences*, 11(9), 1631–1644. <https://doi.org/10.3844/ajassp.2014.1631.1644>
- Conke, L. S. (2018). Barriers to waste recycling development: Evidence from Brazil. *Resources, Conservation and Recycling*, 134(March), 129–135. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2018.03.007>
- Couto, N., Silva, V., Monteiro, E., Teixeira, S., Chacartegui, R., Bouziane, K., ... Rouboa, A. (2015). Numerical and experimental analysis of municipal solid wastes gasification process. *Applied Thermal Engineering*, 78, 185–195. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2014.12.036>
- Crane, R. A., Sinnett, D. E., Cleall, P. J., & Sapsford, D. J. (2017). Physicochemical composition of wastes and co-located environmental designations at legacy mine sites in the south west of England and Wales: Implications for their resource potential. *Resources, Conservation and Recycling*, 123, 117–134. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2016.08.009>
- Cregut, M., Bedas, M., Durand, M.-J., & Thouand, G. (2013). New insights into polyurethane biodegradation and realistic prospects for the development of a sustainable waste recycling process. *BIOTECHNOLOGY ADVANCES*, 31(8), 1634–1647. <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2013.08.011>
- Cruz-Rodrigues, C., Mecca, T. P., de Oliveira, D. G., Ueki, K., Bueno, O. F. A., & de Macedo, E. C. (2014). Perfis cognitivos de crianças e adolescentes com dislexia na WISC-III. *Arquivos Brasileiros de Psicologia*, 66(2), 17–35. <https://doi.org/10.4136/1980-993X>
- Cruz-Sotelo, S. E., Ojeda-Benitez, S., Jauregui Sesma, J., Velazquez-Victorica, K. I., Santillan-Soto, N., Rafael Garcia-Cueto, O., ... Alcantara, C. (2017). E-Waste Supply Chain in Mexico: Challenges and Opportunities for Sustainable Management. *SUSTAINABILITY*, 9(4). <https://doi.org/10.3390/su9040503>
- Cucchiella, F., Adamo, I. D., & Gastaldi, M. (2017). Sustainable waste management : Waste to energy plant as an alternative to landfill. *Energy Conversion and Management*, 131, 18–31. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2016.11.012>
- Cucchiella, F., D'Adamo, I., & Gastaldi, M. (2014). Sustainable management of waste-to-energy facilities. *RENEWABLE & SUSTAINABLE ENERGY REVIEWS*, 33, 719–728. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.02.015>

- Cucchiella, F., D'Adamo, I., Lenny Koh, S. C., & Rosa, P. (2015). Recycling of WEEEs: An economic assessment of present and future e-waste streams. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 51, 263–272. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.06.010>
- D'Adamo, I., Miliacca, M., & Rosa, P. (2017). Economic Feasibility for Recycling of Waste Crystalline Silicon Photovoltaic Modules. *International Journal of Photoenergy*, 2017, 1–7. <https://doi.org/10.1155/2017/4184676>
- De Melo Ferreira, E., De Vasconcelos Barros, R. T., & Soviar, J. (2017). Brazilian Waste Management: Belo Horizonte's Case Study of Sustainable Management. *Procedia Engineering*, 192, 171–176. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.06.030>
- de Souza, R. G., Clímaco, J. C. N., Sant'Anna, A. P., Rocha, T. B., do Valle, R. de A. B., & Quelhas, O. L. G. (2016). Sustainability assessment and prioritisation of e-waste management options in Brazil. *Waste Management*, 57, 46–56. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2016.01.034>
- De Vrieze, J., De Lathouwer, L., Verstraete, W., & Boon, N. (2013). High-rate iron-rich activated sludge as stabilizing agent for the anaerobic digestion of kitchen waste. *Water Research*, 47(11), 3732–3741. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2013.04.020>
- Donovan, S. M., Bateson, T., Gronow, J. R., & Voulvoulis, N. (2010). Characterization of Compost-Like Outputs from Mechanical Biological Treatment of Municipal Solid Waste. *Journal of the Air & Waste Management Association*, 60(6), 694–701. <https://doi.org/10.3155/1047-3289.60.6.694>
- dos Muchangos, L. S., Tokai, A., & Hanashima, A. (2015). Analyzing the structure of barriers to municipal solid waste management policy planning in Maputo city, Mozambique. *Environmental Development*, 16, 76–89. <https://doi.org/10.1016/j.envdev.2015.07.002>
- Duan, H., & Li, J. (2016). Construction and demolition waste management: China's lessons. *Waste Management & Research*, 34(5), 397–398. <https://doi.org/10.1177/0734242X16647603>
- Duan, H., Wang, J., & Huang, Q. (2015). Encouraging the environmentally sound management of C&D waste in China: An integrative review and research agenda. *RENEWABLE & SUSTAINABLE ENERGY REVIEWS*, 43, 611–620. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.11.069>
- Dubois, M. (2013). Towards a coherent European approach for taxation of combustible waste. *WASTE MANAGEMENT*, 33(8), 1776–1783. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2013.03.015>
- Dutta, P., Deb, A., & Majumdar, S. (2016). Optimization of the Medium for the Production of Extracellular Amylase by the *Pseudomonas stutzeri* ISL B5 Isolated from Municipal Solid Waste. *International Journal of Microbiology*, 2016. <https://doi.org/10.1155/2016/4950743>
- Duygan, M., Stauffacher, M., & Meylan, G. (2018). Discourse coalitions in Swiss waste management: gridlock or winds of change? *WASTE MANAGEMENT*, 72, 25–44. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2017.11.006>
- Ebrahimi-Nik, M., Heidari, A., Ramezani Azghandi, S., Asadi Mohammadi, F., & Younesi, H. (2018). Drinking water treatment sludge as an effective additive for biogas production from food waste; kinetic evaluation and biomethane potential test. *Bioresource Technology*, 260(March), 421–426.

- <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2018.03.112>
- El Hanandeh, A. (2015). Energy recovery alternatives for the sustainable management of olive oil industry waste in Australia: Life cycle assessment. *Journal of Cleaner Production*, 91, 78–88.
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.12.005>
- Elimelech, E., Ayalon, O., & Ert, E. (2018). What gets measured gets managed: A new method of measuring household food waste. *Waste Management*, 76, 68–81.
<https://doi.org/10.1016/j.wasman.2018.03.031>
- Eriksson, M., & Spångberg, J. (2017). Carbon footprint and energy use of food waste management options for fresh fruit and vegetables from supermarkets. *Waste Management*, 60, 786–799.
<https://doi.org/10.1016/j.wasman.2017.01.008>
- Ezeah, C., & Roberts, C. L. (2012). Analysis of barriers and success factors affecting the adoption of sustainable management of municipal solid waste in Nigeria. *JOURNAL OF ENVIRONMENTAL MANAGEMENT*, 103, 9–14. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2012.02.027>
- Ezeah, C., & Roberts, C. L. (2014). Waste governance agenda in Nigerian cities: A comparative analysis. *Habitat International*, 41, 121–128. <https://doi.org/10.1016/j.habitatint.2013.07.007>
- Faleschini, F., Zanini, M. A., Hofer, L., Zampieri, P., & Pellegrino, C. (2017). Sustainable management of demolition waste in post-quake recovery processes: The Italian experience. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 24(May), 172–182. <https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2017.06.015>
- Farrelly, T., Schneider, P., & Stupples, P. (2016). Trading in waste: Integrating sustainable development goals and environmental policies in trade negotiations toward enhanced solid waste management in Pacific Islands countries and territories. *Asia Pacific Viewpoint*, 57(1), 27–43.
<https://doi.org/10.1111/apv.12110>
- Fazeli, A., Bakhtvar, F., Jahanshaloo, L., Che Sidik, N. A., & Bayat, A. E. (2016). Malaysia's stand on municipal solid waste conversion to energy: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 58, 1007–1016. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.12.270>
- Fernández, A., Sánchez, A., & Font, X. (2005). Anaerobic co-digestion of a simulated organic fraction of municipal solid wastes and fats of animal and vegetable origin. *Biochemical Engineering Journal*, 26(1), 22–28. <https://doi.org/10.1016/j.bej.2005.02.018>
- Ferrão, P., Ribeiro, P., Rodrigues, J., Marques, A., Preto, M., Amaral, M., ... Costa, E. I. (2014). Environmental, economic and social costs and benefits of a packaging waste management system: A Portuguese case study. *Resources, Conservation and Recycling*, 85, 67–78.
<https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2013.10.020>
- Ferreira-Sánchez, A., & Marrero, M. (2017). Waste Management of Emergency Construction Work. Case Study: 40 Dwellings in Seville (Spain). *The Open Construction and Building Technology Journal*, 11(Suppl-1, M6), 110–123. <https://doi.org/10.2174/1874836801711010110>
- Ferri, G. L., Chaves, G. de L. D., & Ribeiro, G. M. (2015). Análise e localização de centros de armazenamento e triagem de resíduos sólidos urbanos para a rede de logística reversa: um estudo

- de caso no município de São Mateus, ES. *Production*, 25(1), 27–42. <https://doi.org/10.1590/S0103-65132014005000014>
- Fobil, J. N., Armah, N. A., Hogarh, J. N., & Carboo, D. (2008). The influence of institutions and organizations on urban waste collection systems: An analysis of waste collection system in Accra, Ghana (1985-2000). *Journal of Environmental Management*, 86(1), 262–271. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2006.12.038>
- Forsythe, P. (2011). Drivers of Housing Demolition Decision Making and the Impact on Timber Waste Management. *Australasian Journal of Construction Economics and Building*, 11(1), 1–14. <https://doi.org/10.5130/ajceb.v11i1.1660>
- Fruergaard, T., Hyks, J., & Astrup, T. (2010). Life-cycle assessment of selected management options for air pollution control residues from waste incineration. *Science of the Total Environment*, 408(20), 4672–4680. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2010.05.029>
- Gallego-Schmid, A., Mendoza, J. M. F., & Azapagic, A. (2018). Environmental assessment of microwaves and the effect of European energy efficiency and waste management legislation. *Science of the Total Environment*, 618, 487–499. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.11.064>
- Ganesan, P. (2017). Landfill sites, solid waste management and people's resistance: a study of two municipal corporations in Kerala. *International Journal of Environmental Studies*, 74(6), 958–978. <https://doi.org/10.1080/00207233.2017.1374076>
- Garau, G., Castaldi, P., Deiana, S., Campus, P., Mazza, A., Deiana, P., & Pais, A. (2012). Assessment of the use potential of edible sea urchins (*Paracentrotus lividus*) processing waste within the agricultural system: Influence on soil chemical and biological properties and bean (*Phaseolus vulgaris*) and wheat (*Triticum vulgare*) growth in an amended acidic soil. *Journal of Environmental Management*, 109, 12–18. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2012.05.001>
- Garcia-Garcia, G., Woolley, E., Rahimifard, S., Colwill, J., White, R., & Needham, L. (2017). A Methodology for Sustainable Management of Food Waste. *Waste and Biomass Valorization*, 8(6), 2209–2227. <https://doi.org/10.1007/s12649-016-9720-0>
- Garz, E. (2015). *Cerámica y Vidrio para su gestión sostenible*.
- Gellynck, X., Jacobsen, R., & Verhelst, P. (2011). Identifying the key factors in increasing recycling and reducing residual household waste: A case study of the Flemish region of Belgium. *JOURNAL OF ENVIRONMENTAL MANAGEMENT*, 92(10), 2683–2690. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2011.06.006>
- Generowicz, A., Kulczycka, J., Kowalski, Z., & Banach, M. (2011). Assessment of waste management technology using BATNEEC options, technology quality method and multi-criteria analysis. *Journal of Environmental Management*, 92(4), 1314–1320. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2010.12.016>
- Ghinea, C., Drăgoi, E. N., Comăniță, E. D., Gavrilesco, M., Câmpeanu, T., Curteanu, S., & Gavrilesco, M. (2016). Forecasting municipal solid waste generation using prognostic tools and regression analysis. *Journal of Environmental Management*, 182, 80–93.

- <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2016.07.026>
- Godfrey, L. (2008). Facilitating the improved management of waste in South Africa through a national waste information system. *WASTE MANAGEMENT*, 28(9), 1660–1671.
<https://doi.org/10.1016/j.wasman.2007.06.002>
- Gondo, T., Gumbo, T., Mazhindu, E., Ingwani, E., & Makhanda, R. (2010). Spatial analysis of solid waste induced ecological hot spots in Ethiopia: Where ecohydrologists should begin? *Ecohydrology and Hydrobiology*, 10(2–4), 287–296. <https://doi.org/10.2478/v10104-011-0018-3>
- Goulart Coelho, L. M., Lange, L. C., & Coelho, H. M. (2017). Multi-criteria decision making to support waste management: A critical review of current practices and methods. *Waste Management & Research*, 35(1), 3–28. <https://doi.org/10.1177/0734242X16664024>
- Gouveia, N. (2012). Resíduos sólidos urbanos: impactos socioambientais e perspectiva de manejo sustentável com inclusão social. *Ciência & Saúde Coletiva*, 17(6), 1503–1510.
<https://doi.org/10.1590/S1413-81232012000600014>
- Grace, M. A., Clifford, E., & Healy, M. G. (2016). The potential for the use of waste products from a variety of sectors in water treatment processes. *Journal of Cleaner Production*, 137, 788–802.
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.07.113>
- Gray, J. M. (2002). Landraising of waste in England, 1990-2000: A survey of the geomorphological issues raised by planning applications. *Applied Geography*, 22(3), 209–234. [https://doi.org/10.1016/S0143-6228\(02\)00009-7](https://doi.org/10.1016/S0143-6228(02)00009-7)
- Grosso, M. (2016). Sound and advanced municipal waste management: Moving from slogans and politics to practice and technique. *Waste Management and Research*, 34(10), 977–979.
<https://doi.org/10.1177/0734242X16671100>
- Gruszecka, A. M., & Wdowin, M. (2013). Characteristics and distribution of analyzed metals in soil profiles in the vicinity of a postflotation waste site in the Bukowno region, Poland. *Environmental Monitoring and Assessment*, 185(10), 8157–8168. <https://doi.org/10.1007/s10661-013-3164-9>
- Gularte, L. C. P., Lima, J. D. de, Oliveira, G. A., Trentin, M. G., & Setti, D. (2017). Estudo de viabilidade econômica da implantação de uma usina de reciclagem de resíduos da construção civil no município de Pato Branco (PR), utilizando a metodologia multi-índice ampliada. *Engenharia Sanitaria E Ambiental*, 22(5), 985–992. <https://doi.org/10.1590/s1413-41522017162097>
- Haberl, J., Koralewska, R., Schlumberger, S., & Schuster, M. (2018). Quantification of main and trace metal components in the fly ash of waste-to-energy plants located in Germany and Switzerland: An overview and comparison of concentration fluctuations within and between several plants with particular focus on valuable metals. *Waste Management*, 75, 361–371.
<https://doi.org/10.1016/j.wasman.2018.02.015>
- Hadidi, L. A., & Omer, M. M. (2017). A financial feasibility model of gasification and anaerobic digestion waste-to-energy (WTE) plants in Saudi Arabia. *Waste Management*, 59, 90–101.
<https://doi.org/10.1016/j.wasman.2016.09.030>

- Hartmann, H., & Ahring, B. K. (2005). Anaerobic digestion of the organic fraction of municipal solid waste: Influence of co-digestion with manure. *Water Research*, 39(8), 1543–1552.
<https://doi.org/10.1016/j.watres.2005.02.001>
- He, X., Mitrano, D. M., Nowack, B., Bahk, Y. K., Figi, R., Schreiner, C., ... Wang, J. (2017). Agglomeration potential of TiO₂ in synthetic leachates made from the fly ash of different incinerated wastes. *Environmental Pollution*, 223, 616–623. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2017.01.065>
- Hegde, S., Lodge, J. S., & Trabold, T. A. (2018). Characteristics of food processing wastes and their use in sustainable alcohol production. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 81(July 2016), 510–523. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.07.012>
- Hofmann, P. (2013). Wasted waste-Disappearing reuse at the pen-urban interface. *ENVIRONMENTAL SCIENCE & POLICY*, 31, 13–22. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2013.03.011>
- Hossain, M. U., Wang, L., Yu, I. K. M., Tsang, D. C. W., & Poon, C. S. (2018). Environmental and technical feasibility study of upcycling wood waste into cement-bonded particleboard. *Construction and Building Materials*, 173, 474–480. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.04.066>
- Hossain, M. U., Xuan, D., & Poon, C. S. (2017). Sustainable management and utilisation of concrete slurry waste: A case study in Hong Kong. *WASTE MANAGEMENT*, 61, 397–404.
<https://doi.org/10.1016/j.wasman.2017.01.038>
- Hu, H., Li, X., Nguyen, A. D., & Kavan, P. (2015). A critical evaluation of waste incineration plants in Wuhan (China) based on site selection, environmental influence, public health and public participation. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 12(7), 7593–7614.
<https://doi.org/10.3390/ijerph120707593>
- Hu, Y., Du, C., Leu, S. Y., Jing, H., Li, X., & Lin, C. S. K. (2018). Valorisation of textile waste by fungal solid state fermentation: An example of circular waste-based biorefinery. *Resources, Conservation and Recycling*, 129(September 2017), 27–35. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.09.024>
- Huang, C. L., Yu, C. P., Lin, T., & Ye, Z. (2016). Water conservation significance of municipal solid waste management: A case of Xiamen in China. *Journal of Cleaner Production*, 129, 693–703.
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.03.062>
- Hung, M. L., Ma, H. w., & Yang, W. F. (2007). A novel sustainable decision making model for municipal solid waste management. *Waste Management*, 27(2), 209–219.
<https://doi.org/10.1016/j.wasman.2006.01.008>
- Hussain, N., & Abbasi, S. A. (2018). Efficacy of the vermicomposts of different organic wastes as “clean” fertilizers: State-of-the-art. *Sustainability (Switzerland)*, 10(4). <https://doi.org/10.3390/su10041205>
- Huybrechts, D., Verachtert, E., Vander Aa, S., Polders, C., & Van den Abeele, L. (2016). Polluted rainwater runoff from waste recovery and recycling companies: Determination of emission levels associated with the best available techniques. *Waste Management*, 54, 74–82.
<https://doi.org/10.1016/j.wasman.2016.05.002>
- Ibanescu, D., Cailean (Gavrilescu), D., Teodosiu, C., & Fiore, S. (2018). Assessment of the waste

- electrical and electronic equipment management systems profile and sustainability in developed and developing European Union countries. *Waste Management*, 73, 39–53.
<https://doi.org/10.1016/j.wasman.2017.12.022>
- Ibáñez-Forés, V., Coutinho-Nóbrega, C., Bovea, M. D., de Mello-Silva, C., & Lessa-Feitosa-Virgolino, J. (2018). Influence of implementing selective collection on municipal waste management systems in developing countries: A Brazilian case study. *Resources, Conservation and Recycling*, 134(December 2017), 100–111. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.12.027>
- Ibrahim, M. I. M. (2016). Estimating the sustainability returns of recycling construction waste from building projects. *Sustainable Cities and Society*, 23, 78–93. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2016.03.005>
- Ikhlayel, M. (2018). Development of management systems for sustainable municipal solid waste in developing countries: a systematic life cycle thinking approach. *JOURNAL OF CLEANER PRODUCTION*, 180, 571–586. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.01.057>
- Ingrao, C., Faccilongo, N., Di Gioia, L., & Messineo, A. (2018). Food waste recovery into energy in a circular economy perspective: A comprehensive review of aspects related to plant operation and environmental assessment. *Journal of Cleaner Production*, 184, 869–892.
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.02.267>
- Islam, M. T., & Huda, N. (2018). Reverse logistics and closed-loop supply chain of Waste Electrical and Electronic Equipment (WEEE)/E-waste: A comprehensive literature review. *Resources, Conservation and Recycling*, 137(May), 48–75. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2018.05.026>
- Ismail, Z. Z., & AbdelKareem, H. N. (2015). Sustainable approach for recycling waste lamb and chicken bones for fluoride removal from water followed by reusing fluoride-bearing waste in concrete. *WASTE MANAGEMENT*, 45(SI), 66–75. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2015.06.039>
- Jamieson, H. E., Walker, S. R., & Parsons, M. B. (2015). Mineralogical characterization of mine waste. *Applied Geochemistry*, 57, 85–105. <https://doi.org/10.1016/j.apgeochem.2014.12.014>
- Jara-Samaniego, J., Pérez-Murcia, M. D., Bustamante, M. A., Pérez-Espinosa, A., Paredes, C., López, M., ... Moral, R. (2017). Composting as sustainable strategy for municipal solid waste management in the Chimborazo Region, Ecuador: Suitability of the obtained composts for seedling production. *Journal of Cleaner Production*, 141, 1349–1358. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.09.178>
- Jayaraman, K., & Halliwell, R. (2009). Harakeke (phormium tenax) fibre-waste plastics blend composites processed by screwless extrusion. *Composites Part B: Engineering*, 40(7), 645–649.
<https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2009.04.010>
- Jayasinghe, P. A., Hettiaratchi, J. P. A., Mehrotra, A. K., & Kumar, S. (2011). Effect of enzyme additions on methane production and lignin degradation of landfilled sample of municipal solid waste. *Bioresource Technology*, 102(7), 4633–4637. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2011.01.013>
- Jayawardhana, Y., Kumarathilaka, P., Herath, I., & Vithanage, M. (2016). Municipal Solid Waste Biochar for Prevention of Pollution From Landfill Leachate. *Environmental Materials and Waste: Resource Recovery and Pollution Prevention*. Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-803837->

6.00006-8

- Jin, J. J., Wang, Z. S., & Ran, S. H. (2006). Comparison of contingent valuation and choice experiment in solid waste management programs in Macao. *ECOLOGICAL ECONOMICS*, 57(3), 430–441. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2005.04.020>
- Johansson, N., Krook, J., & Frändegård, P. (2017). A new dawn for buried garbage? An investigation of the marketability of previously disposed shredder waste. *Waste Management*, 60, 417–427. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2016.05.015>
- Johari, A., Alkali, H., Hashim, H., Ahmed, S. I., & Mat, R. (2014). Municipal solid waste management and potential revenue from recycling in Malaysia. *Modern Applied Science*, 8(4), 37–49. <https://doi.org/10.5539/mas.v8n4p37>
- Josimović, B., Marić, I., & Milijić, S. (2015). Multi-criteria evaluation in strategic environmental assessment for waste management plan, a case study: The city of Belgrade. *Waste Management*, 36, 331–342. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2014.11.003>
- Jouhara, H., Czajczyńska, D., Ghazal, H., Krzyżyńska, R., Anguilano, L., Reynolds, A. J., & Spencer, N. (2017). Municipal waste management systems for domestic use. *Energy*, 139, 485–506. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2017.07.162>
- Kanagaraj, J., Senthilvelan, T., Panda, R. C., & Kavitha, S. (2015). Eco-friendly waste management strategies for greener environment towards sustainable development in leather industry: A comprehensive review. *Journal of Cleaner Production*, 89, 1–17. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.11.013>
- Karmee, S. K. (2018). Noodle waste based biorefinery: an approach to address fuel, waste management and sustainability. *Biofuels*, 9(3), 395–404. <https://doi.org/10.1080/17597269.2016.1271631>
- Kayser, C., Larkin, T., & Singhal, N. (2015). Amendment of biosolids with waste materials and lime: Effect on geoenvironmental properties and leachate production. *Waste Management*, 46, 165–175. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2015.08.024>
- Kemal Korucu, M., & Erdagi, B. (2012). A criticism of applications with multi-criteria decision analysis that are used for the site selection for the disposal of municipal solid wastes. *Waste Management*, 32(12), 2315–2323. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2012.07.003>
- Kibler, K. M., Reinhart, D., Hawkins, C., Motlagh, A. M., & Wright, J. (2018). Food waste and the food-energy-water nexus: A review of food waste management alternatives. *WASTE MANAGEMENT*, 74, 52–62. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2018.01.014>
- Kikuchi, R., & Gerardo, R. (2009). More than a decade of conflict between hazardous waste management and public resistance: A case study of NIMBY syndrome in Souselas (Portugal). *JOURNAL OF HAZARDOUS MATERIALS*, 172(2–3), 1681–1685. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2009.07.062>
- Kim, E. Y., Kim, M. S., Lee, J. C., Jeong, J., & Pandey, B. D. (2011). Leaching kinetics of copper from waste printed circuit boards by electro-generated chlorine in HCl solution. *Hydrometallurgy*, 107(3–4), 124–132. <https://doi.org/10.1016/j.hydromet.2011.02.009>

- Kinab, E., & Khoury, G. (2015). Management of olive solid waste in Lebanon: From mill to stove. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 52, 209–216. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.07.094>
- Klang, A. B., Vikman, P. Å., & Brattebø, H. (2008). Sustainable management of combustible household waste-Expanding the integrated evaluation model. *Resources, Conservation and Recycling*, 52(8–9), 1101–1111. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2008.05.004>
- Klang, A., Vikman, P.-Å., & Brattebø, H. (2003). Sustainable management of demolition waste—an integrated model for the evaluation of environmental, economic and social aspects. *Resources, Conservation and Recycling*, 38(4), 317–334. [https://doi.org/10.1016/S0921-3449\(02\)00167-2](https://doi.org/10.1016/S0921-3449(02)00167-2)
- Krasniqi, I., Krasniqi, D., & Krasniqi, G. (2013). Strategic local governance policy and waste management - Prishtina municipality case. *IFAC Proceedings Volumes (IFAC-PapersOnline) (Vol. 15)*. IFAC. <https://doi.org/10.3182/20130606-3-XK-4037.00037>
- Kumar, A., & Dixit, G. (2018). An analysis of barriers affecting the implementation of e-waste management practices in India: A novel ISM-DEMATEL approach. *Sustainable Production and Consumption*, 14, 36–52. <https://doi.org/10.1016/j.spc.2018.01.002>
- Kumar, G., Sivagurunathan, P., Sen, B., Kim, S. H., & Lin, C. Y. (2017). Mesophilic continuous fermentative hydrogen production from acid pretreated de-oiled jatropha waste hydrolysate using immobilized microorganisms. *Bioresource Technology*, 240, 137–143. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2017.03.059>
- Kumawat, T. K., Sharma, A., & Bhadauria, S. (2017). *Chrysosporium queenslandicum*: a potent keratinophilic fungus for keratinous waste degradation. *International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture*, 6(2), 143–148. <https://doi.org/10.1007/s40093-017-0162-x>
- Kupper, T., Bucheli, T. D., Brändli, R. C., Ortelli, D., & Edder, P. (2008). Dissipation of pesticides during composting and anaerobic digestion of source-separated organic waste at full-scale plants. *Bioresource Technology*, 99(17), 7988–7994. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2008.03.052>
- Lam, C. M., Yu, I. K. M., Medel, F., Tsang, D. C. W., Hsu, S. C., & Poon, C. S. (2018). Life-cycle cost-benefit analysis on sustainable food waste management: The case of Hong Kong International Airport. *Journal of Cleaner Production*, 187, 751–762. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.03.160>
- Larsen, A. W., Merrild, H., Møller, J., & Christensen, T. H. (2010). Waste collection systems for recyclables: An environmental and economic assessment for the municipality of Aarhus (Denmark). *Waste Management*, 30(5), 744–754. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2009.10.021>
- Laurent, A., Bakas, I., Clavreul, J., Bernstad, A., Niero, M., Gentil, E., ... Christensen, T. H. (2014). Review of LCA studies of solid waste management systems - Part I: Lessons learned and perspectives. *Waste Management*, 34(3), 573–588. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2013.10.045>
- Leao, S., Bishop, I., & Evans, D. (2001). Assessing the demand of solid waste disposal in urban region by urban dynamics modelling in a GIS environment. *Resources, Conservation and Recycling*, 33(4), 289–313. [https://doi.org/10.1016/S0921-3449\(01\)00090-8](https://doi.org/10.1016/S0921-3449(01)00090-8)

- Leba, M., Ionica, A., Dovleac, R., & Dobra, R. (2018). Waste Management System for Batteries. *SUSTAINABILITY*, 10(2). <https://doi.org/10.3390/su10020332>
- Leiva, C., Solís-Guzmán, J., Marrero, M., & García Arenas, C. (2013). Recycled blocks with improved sound and fire insulation containing construction and demolition waste. *Waste Management*, 33(3), 663–671. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2012.06.011>
- Li, C., Jia, Z., Ye, X., & Yin, S. (2018). Simulation on deacidification performance of waste incinerator flue gas by rotating spray drying. *Energy*, 152, 652–665. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2018.03.173>
- Li, X. dong, Yan, M., Chen, T., Lu, S. yong, Yan, J. hua, & Cen, K. fa. (2010). Levels of PCDD/Fs in soil in the vicinity of a medical waste incinerator in China: The temporal variation during 2007-2009. *Journal of Hazardous Materials*, 179(1–3), 783–789. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2010.03.072>
- Li, Y., Zhang, X., Ding, G., & Feng, Z. (2016). Developing a quantitative construction waste estimation model for building construction projects. *Resources, Conservation and Recycling*, 106, 9–20. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2015.11.001>
- Lima, L. R., Da Cruz, J. V., Junior, W. H., & Soto, F. R. M. (2016). Análise econômica de um sistema de gestão compartilhada de resíduos sólidos oriundos de uma indústria de alimentos. *Revista Em Agronegocio E Meio Ambiente*, 9(4), 917–933. <https://doi.org/10.17765/2176-9168.2016v9n4p917-933>
- Liu, C.-M., & Wu, S.-Y. (2016). From biomass waste to biofuels and biomaterial building blocks. *RENEWABLE ENERGY*, 96(B, SI), 1056–1062. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2015.12.059>
- Liu, H., Wei, G., & Zhang, R. (2013). Removal of carbon constituents from hospital solid waste incinerator fly ash by column flotation. *Waste Management*, 33(1), 168–174. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2012.08.019>
- Long, E., Kokke, S., Lundie, D., Shaw, N., Ijomah, W., & Kao, C. chuan. (2016). Technical solutions to improve global sustainable management of waste electrical and electronic equipment (WEEE) in the EU and China. *Journal of Remanufacturing*, 6(1), 1–27. <https://doi.org/10.1186/s13243-015-0023-6>
- López, I., Passeggi, M., & Borzacconi, L. (2015a). Validation of a simple kinetic modelling approach for agro-industrial waste anaerobic digesters. *Chemical Engineering Journal*, 262, 509–516. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2014.10.003>
- López, I., Passeggi, M., & Borzacconi, L. (2015b). Variable kinetic approach to modelling an industrial waste anaerobic digester. *Biochemical Engineering Journal*, 96, 7–13. <https://doi.org/10.1016/j.bej.2014.12.014>
- Machin, E. B., Pedroso, D. T., & de Carvalho, J. A. (2017). Energetic valorization of waste tires. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 68(September 2016), 306–315. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.09.110>
- Maiello, A., Britto, A. L. N. de P., Valle, T. F., Maiello, A., Britto, A. L. N. de P., & Valle, T. F. (2018). Implementação da Política Nacional de Resíduos Sólidos. *Revista de Administração Pública*, 52(1), 24–51. <https://doi.org/10.1590/0034-7612155117>

- Mannarino, C. F., Moreira, J. C., Ferreira, J. A., & Arias, A. R. L. (2013). Avaliação de impactos do efluente do tratamento combinado de lixiviado de aterro de resíduos sólidos urbanos e esgoto doméstico sobre a biota aquática. *Ciência & Saúde Coletiva*, 18(11), 3235–3243. <https://doi.org/10.1590/S1413-81232013001100014>
- Mannschatz, T., Wolf, T., & Hülsmann, S. (2016). Nexus Tools Platform: Web-based comparison of modelling tools for analysis of water-soil-waste nexus. *Environmental Modelling and Software*, 76, 137–153. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2015.10.031>
- Marconsin, A. F., & Rosa, D. D. S. (2013). A comparison of two models for dealing with urban solid waste: Management by contract and management by public-private partnership. *Resources, Conservation and Recycling*, 74, 115–123. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2013.02.005>
- Marino, A. L., Chaves, G. de L. D., & Santos Junior, J. L. dos. (2018). Do Brazilian municipalities have the technical capacity to implement solid waste management at the local level? *Journal of Cleaner Production*, 188, 378–386. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.03.311>
- Marino, C., Nucara, A., Nucera, G., & Pietrafesa, M. (2017). Economic, energetic and environmental analysis of the waste management system of Reggio Calabria. *INTERNATIONAL JOURNAL OF HEAT AND TECHNOLOGY*, 35(1), S108–S116. <https://doi.org/10.18280/ijht.35Sp0115>
- Marrero, M. (2011). Demolition Waste Management in Spanish Legislation. *The Open Construction and Building Technology Journal*, 5(1), 162–173. <https://doi.org/10.2174/1874836801105010162>
- Marrero, M., Puerto, M., Rivero-Camacho, C., Freire-Guerrero, A., & Solís-Guzmán, J. (2017). Assessing the economic impact and ecological footprint of construction and demolition waste during the urbanization of rural land. *Resources, Conservation and Recycling*, 117, 160–174. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2016.10.020>
- Massarutto, A. (2015). Economic aspects of thermal treatment of solid waste in a sustainable WM system. *Waste Management*, 37, 45–57. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2014.08.024>
- Medeiros, J. E. da S. F., Paz, A. R. da, & Moraes Júnior, J. de A. (2015). Análise da evolução e estimativa futura da massa coletada de resíduos sólidos domiciliares no município de João Pessoa e relação com outros indicadores de consumo. *Engenharia Sanitaria E Ambiental*, 20(1), 119–130. <https://doi.org/10.1590/S1413-41522015020000120117>
- Mehariya, S., Patel, A. K., Obulisamy, P. K., Punniyakotti, E., & Wong, J. W. C. (2018). Co-digestion of food waste and sewage sludge for methane production: Current status and perspective. *Bioresource Technology*, 265(March), 519–531. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2018.04.030>
- Mendecka, B., Lombardi, L., Gładysz, P., & Stanek, W. (2018). Exergo-ecological assessment of waste to energy plants supported by solar energy. *Energies*, 11(4), 1–20. <https://doi.org/10.3390/en11040773>
- Menegaki, M., & Damigos, D. (2018). A review on current situation and challenges of construction and demolition waste management. *Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry*, 13, 8–15. <https://doi.org/10.1016/j.cogsc.2018.02.010>
- Micheli, G. J. L., Cagno, E., & Tappia, E. (2018). Improving eco-efficiency through waste reduction

- beyond the boundaries of a firm: Evidence from a multiplant case in the ceramic industry. *Sustainability (Switzerland)*, 10(1). <https://doi.org/10.3390/su10010167>
- Miezah, K., Obiri-Danso, K., Kádár, Z., Fei-Baffoe, B., & Mensah, M. Y. (2015). Municipal solid waste characterization and quantification as a measure towards effective waste management in Ghana. *Waste Management*, 46, 15–27. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2015.09.009>
- Milutinović, B., Stefanović, G., Dassisti, M., Marković, D., & Vučković, G. (2014). Multi-criteria analysis as a tool for sustainability assessment of a waste management model. *Energy*, 74(C), 190–201. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2014.05.056>
- Mokhtar, H., Ramlah, M. T., Aida Isma, M. I., Nabilah Huda, A. H., Noor Sa'adah, A. H., & Wan Suriatty, M. (2016). Characterization on silica from waste sugarcane bagasse for membrane fabrication. *Jurnal Teknologi*, 78(5–4), 43–47. <https://doi.org/10.11113/jt.v78.8539>
- Mondéjar-Jiménez, J. A., Ferrari, G., Secondi, L., & Principato, L. (2016). From the table to waste: An exploratory study on behaviour towards food waste of Spanish and Italian youths. *Journal of Cleaner Production*, 138, 8–18. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.06.018>
- Moora, H., Roos, I., Kask, U., Kask, L., & Ounapuu, K. (2017). Determination of biomass content in combusted municipal waste and associated CO2 emissions in Estonia. *Energy Procedia*, 128, 222–229. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.09.059>
- Mor, R. S., Singh, S., Bhardwaj, A., & Osama, M. (2017). Exploring the awareness level of biomedical waste management: Case of Indian healthcare. *Management Science Letters*, 7, 467–478. <https://doi.org/10.5267/j.msl.2017.7.004>
- Moroni, M., Lupo, E., & La Marca, F. (2017). Hydraulic separation of plastic wastes: Analysis of liquid-solid interaction. *Waste Management*, 66, 13–22. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2017.04.045>
- Moult, J. A., Allan, S. R., Hewitt, C. N., & Berners-Lee, M. (2018). Greenhouse gas emissions of food waste disposal options for UK retailers. *Food Policy*, 77(November 2017), 50–58. <https://doi.org/10.1016/j.foodpol.2018.04.003>
- Mu, D., Horowitz, N., Casey, M., & Jones, K. (2017). Environmental and economic analysis of an in-vessel food waste composting system at Kean University in the U.S. *Waste Management*, 59, 476–486. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2016.10.026>
- Münster, M., & Meibom, P. (2010). Long-term affected energy production of waste to energy technologies identified by use of energy system analysis. *Waste Management*, 30(12), 2510–2519. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2010.04.015>
- Muñoz-Cadena, C. E., Arenas-Huertero, F. J., & Ramón-Gallegos, E. (2009). Comparative analysis of the street generation of inorganic urban solid waste (IUSW) in two neighborhoods of Mexico City. *Waste Management*, 29(3), 1167–1175. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2008.06.039>
- Mwanza, B. G., & Mbohwa, C. (2017). Drivers to Sustainable Plastic Solid Waste Recycling: A Review. In Seliger, G and Kohl, H and Oosthuizen, GA (Ed.), 14TH GLOBAL CONFERENCE ON SUSTAINABLE MANUFACTURING, GCSM 2016 (Vol. 8, pp. 649–656). SARA

BURGERHARTSTRAAT 25, PO BOX 211, 1000 AE AMSTERDAM, NETHERLANDS: ELSEVIER
SCIENCE BV. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2017.02.083>

- Nagaraju, G., Sekhar, S. C., & Yu, J. S. (2018). Utilizing Waste Cable Wires for High-Performance Fiber-Based Hybrid Supercapacitors: An Effective Approach to Electronic-Waste Management. *ADVANCED ENERGY MATERIALS*, 8(7). <https://doi.org/10.1002/aenm.201702201>
- Nahman, A. (2010). Extended producer responsibility for packaging waste in South Africa: Current approaches and lessons learned. *Resources, Conservation and Recycling*, 54(3), 155–162. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2009.07.006>
- Nasir, S. R. M., Othman, N. H., Isa, C. M. M., & Ibrahim, C. K. C. (2016). The challenge of construction waste management in KUALA LUMPUR. *Jurnal Teknologi*, 3, 115–119.
- Nasrullah, M., Vainikka, P., Hannula, J., Hurme, M., & Kärki, J. (2014). Mass, energy and material balances of SRF production process. Part 2: SRF produced from construction and demolition waste. *Waste Management*, 34(11), 2163–2170. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2014.06.009>
- Navia, R., & Bezama, A. (2008). Hazardous waste management in Chilean main industry: An overview. *JOURNAL OF HAZARDOUS MATERIALS*, 158(1), 177–184. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2008.01.071>
- Naziri, E., Nenadis, N., Mantzouridou, F. T., & Tsimidou, M. Z. (2014). Valorization of the major agrifood industrial by-products and waste from Central Macedonia (Greece) for the recovery of compounds for food applications. *FOOD RESEARCH INTERNATIONAL*, 65(C, SI), 350–358. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2014.09.013>
- Neugart, S., Wiesner-Reinhold, M., Frede, K., Jander, E., Homann, T., Rawel, H. M., ... Baldermann, S. (2018). Effect of Solid Biological Waste Compost on the Metabolite Profile of *Brassica rapa* ssp. *chinensis*. *Frontiers in Plant Science*, 9(March), 1–13. <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.00305>
- Nguyen, D. D., Yeop, J. S., Choi, J., Kim, S., Chang, S. W., Jeon, B. H., ... Ngo, H. H. (2017). A new approach for concurrently improving performance of South Korean food waste valorization and renewable energy recovery via dry anaerobic digestion under mesophilic and thermophilic conditions. *Waste Management*, 66, 161–168. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2017.03.049>
- Nielfa, A., Cano, R., & Fdz-Polanco, M. (2015). Theoretical methane production generated by the co-digestion of organic fraction municipal solid waste and biological sludge. *Biotechnology Reports*, 5(1), 14–21. <https://doi.org/10.1016/j.btre.2014.10.005>
- Nik Pa, N. N. A., Wan Ibrahim, M. H., Abdul Ghani, A. H., Mohd Ali, A. Z., & Arshad, M. F. (2017). Compressive Strength of Construction Materials Containing Agricultural Crop Wastes: A Review. *MATEC Web of Conferences*, 103, 1018. <https://doi.org/10.1051/mateconf/201710301018>
- Nikolic, A., Mikic, M., & Naunovic, Z. (2017). Broadening the urban sustainable energy diapason through energy recovery from waste: A feasibility study for the capital of Serbia. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 69(March 2016), 1–8. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.11.177>
- Nilsson, J., Pembe, A. B., Urasa, M., & Darj, E. (2013). Safe injections and waste management among

- healthcare workers at a regional hospital in northern Tanzania. *Tanzania Journal of Health Research*, 15(1), 0–7. <https://doi.org/10.4314/thrb.v15i1.8>
- Ntuli, V. ., & Hapazari, I. . (2013). Sustainable waste management by production of activated carbon from agroforestry residues. *South African Journal of Science*, 109(1–2), 1–6. <https://doi.org/10.1590/sajs.2013/1077>
- Ogunjuyigbe, A. S. O., Ayodele, T. R., & Alao, M. A. (2017). Electricity generation from municipal solid waste in some selected cities of Nigeria: An assessment of feasibility, potential and technologies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 80(May 2016), 149–162. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.05.177>
- Omorie, M. O., Babalola, J. O., Unuabonah, E. I., Song, W., & Gong, J. R. (2016). Efficient chromium abstraction from aqueous solution using a low-cost biosorbent: *Nauclea diderrichii* seed biomass waste. *Journal of Saudi Chemical Society*, 20(1), 49–57. <https://doi.org/10.1016/j.jscs.2012.09.017>
- Ongondo, F. O., Williams, I. D., & Keynes, S. (2011). Estimating the impact of the “digital switchover” on disposal of WEEE at household waste recycling centres in England. *Waste Management*, 31(4), 743–753. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2010.11.005>
- Orchard, C., León-Lobos, P., & Ginocchio, R. (2009). Phytostabilization of massive mine wastes with native phylogenetic resources: potential for sustainable use and conservation of the native flora in north-central Chile. *Ciencia E Investigación Agraria*, 36(3), 329–352. <https://doi.org/10.4067/S0718-16202009000300002>
- Oyake-Ombis, L., van Vliet, B. J. M., & Mol, A. P. J. (2015). Managing plastic waste in East Africa: Niche innovations in plastic production and solid waste. *Habitat International*, 48, 188–197. <https://doi.org/10.1016/j.habitatint.2015.03.019>
- Pagliano, G., Ventorino, V., Panico, A., & Pepe, O. (2017). Integrated systems for biopolymers and bioenergy production from organic waste and by-products: A review of microbial processes. *Biotechnology for Biofuels*, 10(1), 1–24. <https://doi.org/10.1186/s13068-017-0802-4>
- Panambunan-Ferse, M., & Breiter, A. (2013). Assessing the side-effects of ICT development: E-waste production and management. A case study about cell phone end-of-life in Manado, Indonesia. *Technology in Society*, 35(3), 223–231. <https://doi.org/10.1016/j.techsoc.2013.04.002>
- Pankhurst, L. J., Whitby, C., Pawlett, M., Larcombe, L. D., Mckew, B., Deacon, L. J., ... Coulon, F. (2012). Temporal and spatial changes in the microbial bioaerosol communities in green-waste composting. *FEMS Microbiology Ecology*, 79(1), 229–239. <https://doi.org/10.1111/j.1574-6941.2011.01210.x>
- Papargyropoulou, E., Wright, N., Lozano, R., Steinberger, J., Padfield, R., & Ujang, Z. (2016). Conceptual framework for the study of food waste generation and prevention in the hospitality sector. *Waste Management*, 49, 326–336. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2016.01.017>
- Parra-Orobio, B. A., Angulo-Mosquera, L. S., Loaiza-Gualtero, J. S., Torres-López, W. A., & Torres-Lozada, P. (2018). Inoculum mixture optimization as strategy for to improve the anaerobic digestion of food waste for the methane production. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 6(1),

- 1529–1535. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2018.01.048>
- Parra-Orobio, B. A., Donoso-Bravo, A., Ruiz-Sánchez, J. C., Valencia-Molina, K. J., & Torres-Lozada, P. (2018). Effect of inoculum on the anaerobic digestion of food waste accounting for the concentration of trace elements. *Waste Management*, 71, 342–349. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2017.09.040>
- Pathak, P., Srivastava, R. R., & Ojasvi. (2017). Assessment of legislation and practices for the sustainable management of waste electrical and electronic equipment in India. *RENEWABLE & SUSTAINABLE ENERGY REVIEWS*, 78, 220–232. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.04.062>
- Patrício, J., Costa, I., & Niza, S. (2015). Urban material cycle closing - Assessment of industrial waste management in Lisbon region. *Journal of Cleaner Production*, 106, 389–399. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.08.069>
- Patwary, M. A., O'Hare, W. T., & Sarker, M. H. (2012). Occupational accident: An example of fatalistic beliefs among medical waste workers in Bangladesh. *Safety Science*, 50(1), 76–82. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2011.07.004>
- Peng, H., Reid, M. S., & Le, X. C. (2015). Consumption of rice and fish in an electronic waste recycling area contributes significantly to total daily intake of mercury. *Journal of Environmental Sciences (China)*, 38, 83–86. <https://doi.org/10.1016/j.jes.2015.10.003>
- Peña, D., López-Piñero, A., Albarrán, Á., Rato-Nunes, J. M., Sánchez-Llerena, J., Becerra, D., & Ramírez, M. (2016). De-oiled two-phase olive mill waste may reduce water contamination by metribuzin. *Science of the Total Environment*, 541, 638–645. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.09.019>
- Phillips, P. S., Gronow, B., & Read, A. D. (1998). A regional perspective on waste minimisation: a case study of the East Midlands of England. *Resources Conservation and Recycling*, 23(3), 127–161. [https://doi.org/10.1016/S0921-3449\(98\)00035-4](https://doi.org/10.1016/S0921-3449(98)00035-4)
- Pickering, H. (1996). Artificial reefs of bulk waste materials: A scientific and legal review of the suitability of using the cement stabilised by-products of coal-fired power stations. *Marine Policy*, 20(6), 483–497. [https://doi.org/10.1016/S0308-597X\(96\)00036-X](https://doi.org/10.1016/S0308-597X(96)00036-X)
- Ping, Q., Lu, X., Zheng, M., & Li, Y. (2018). Effect of CaO₂ addition on anaerobic digestion of waste activated sludge at different temperatures and the promotion of valuable carbon source production under ambient condition. *Bioresource Technology*, 265(May), 247–256. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2018.06.007>
- Pinheiro, G., Rendeiro, G., Pinho, J., & Macedo, E. (2012). Sustainable management model for rural electrification: Case study based on biomass solid waste considering the Brazilian regulation policy. *Renewable Energy*, 37(1), 379–386. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2011.07.004>
- Pollard, S. J. T., Smith, R., Longhurst, P. J., Eduljee, G. H., & Hall, D. (2006). Recent developments in the application of risk analysis to waste technologies. *Environment International*, 32(8), 1010–1020. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2006.06.007>
- Ponsá, S., Gea, T., & Sánchez, A. (2011). Anaerobic co-digestion of the organic fraction of municipal

- solid waste with several pure organic co-substrates. *Biosystems Engineering*, 108(4), 352–360.
<https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2011.01.007>
- Priebe, G. P. S., Kipper, E., Gusmão, A. L., Marcilio, N. R., & Gutterres, M. (2016). Anaerobic digestion of chrome-tanned leather waste for biogas production. *Journal of Cleaner Production*, 129, 410–416.
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.04.038>
- Priyadharshini, P., Ramamurthy, K., & Robinson, R. G. (2017). Excavated soil waste as fine aggregate in fly ash based geopolymer mortar. *Applied Clay Science*, 146(May), 81–91.
<https://doi.org/10.1016/j.clay.2017.05.038>
- Prusty, J. K., & Patro, S. K. (2015). Properties of fresh and hardened concrete using agro-waste as partial replacement of coarse aggregate - A review. *Construction and Building Materials*, 82, 101–113.
<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.02.063>
- Pumpinyo, S., & Nitivattananon, V. (2014). Investigation of barriers and factors affecting the reverse logistics of waste management practice: A case study in Thailand. *Sustainability (Switzerland)*, 6(10), 7048–7062. <https://doi.org/10.3390/su6107048>
- Putna, O., Kropáč, J., Fryba, L., & Pavlas, M. (2014). Prediction of heating value of waste and its importance for conceptual development of new waste-To-energy plants. 17th Conference on Process Integration, Modelling and Optimisation for Energy Saving and Pollution Reduction, PRES 2014, 39(Special Issue), 1273–1278. <https://doi.org/10.3303/CET1439213>
- Quartey, E. T., Tosefa, H., Danquah, K. A. B., & Ohrsaloova, I. (2015). Theoretical framework for plastic waste management in Ghana through extended producer responsibility: Case of sachet water waste. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 12(8), 9907–9919.
<https://doi.org/10.3390/ijerph120809907>
- Ragazzi, M., Maniscalco, M., Torretta, V., Ferronato, N., & Rada, E. C. (2017). Anaerobic digestion as sustainable source of energy: A dynamic approach for improving the recovery of organic waste. *Energy Procedia*, 119, 602–614. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.07.086>
- Rahmat, A. S., Noor, H. R. N. R. M., Endut, I. R., & Ridzuan, R. A. M. (2016). The practice of construction waste management in Pulau Pinang, 30018(2016), 30018. <https://doi.org/10.1063/1.4965074>
- Read, A. D., Phillips, P., & Robinson, G. (1997). Landfill as a future waste management option in England: The view of landfill operators. *Resources, Conservation and Recycling*, 20(3), 183–205.
[https://doi.org/10.1016/S0921-3449\(97\)00017-7](https://doi.org/10.1016/S0921-3449(97)00017-7)
- Redouane, F., & Mourad, L. (2016). Pollution characterization of liquid waste of the factory complex Ferial (Arzew, Algeria). *JOURNAL OF THE AIR & WASTE MANAGEMENT ASSOCIATION*, 66(3), 260–266. <https://doi.org/10.1080/10962247.2015.1123782>
- Reis, M. A., Rangel-S, M. L., Mattos, C. M. de, & Franke, C. R. (2013). Conhecimento, prática e percepção sobre o gerenciamento de resíduos de serviços de saúde em estabelecimentos médicos veterinários de Salvador, Bahia. *Revista Brasileira de Saude E Producao Animal*, 14(2), 287–298.
<https://doi.org/10.1590/S1519-99402013000200004>

- Ribić, B., Voća, N., & Ilakovac, B. (2017). Concept of sustainable waste management in the city of Zagreb: Towards the implementation of circular economy approach. *Journal of the Air and Waste Management Association*, 67(2), 241–259. <https://doi.org/10.1080/10962247.2016.1229700>
- Río, M., Franco-Uría, A., Abad, E., & Roca, E. (2011). A risk-based decision tool for the management of organic waste in agriculture and farming activities (FARMERS). *Journal of Hazardous Materials*, 185(2–3), 792–800. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2010.09.090>
- Rivela, B., Moreira, M. T., Muñoz, I., Rieradevall, J., & Feijoo, G. (2006). Life cycle assessment of wood wastes: A case study of ephemeral architecture. *Science of the Total Environment*, 357(1–3), 1–11. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2005.04.017>
- Rizwan, M., Saif, Y., Almansoori, A., & Elkamel, A. (2018). Optimal processing route for the utilization and conversion of municipal solid waste into energy and valuable products. *JOURNAL OF CLEANER PRODUCTION*, 174, 857–867. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.10.335>
- Rodgers, K. J., Hursthouse, A., & Cuthbert, S. (2015). The Potential of Sequential Extraction in the Characterisation and Management of Wastes from Steel Processing: A Prospective Review. *INTERNATIONAL JOURNAL OF ENVIRONMENTAL RESEARCH AND PUBLIC HEALTH*, 12(9), 11724–11755. <https://doi.org/10.3390/ijerph120911724>
- Rodríguez-Robles, D., García-González, J., Juan-Valdés, A., Morán-del Pozo, J. M., & Guerra-Romero, M. I. (2014). Quality assessment of mixed and ceramic recycled aggregates from construction and demolition wastes in the concrete manufacture according to the Spanish standard. *Materials*, 7(8), 5843–5857. <https://doi.org/10.3390/ma7085843>
- Rodríguez, G., Alegre, F. J., & Martínez, G. (2007). The contribution of environmental management systems to the management of construction and demolition waste: The case of the Autonomous Community of Madrid (Spain). *Resources, Conservation and Recycling*, 50(3), 334–349. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2006.06.008>
- Rosanvallon, S., Na, B. C., Benchikhoun, M., Uzan, J. E., Gastaldi, O., Taylor, N., & Rodriguez, L. (2010). ITER waste management. *Fusion Engineering and Design*, 85(10–12), 1788–1791. <https://doi.org/10.1016/j.fusengdes.2010.05.040>
- Roussat, N., Dujet, C., & Méhu, J. (2009). Choosing a sustainable demolition waste management strategy using multicriteria decision analysis. *Waste Management*, 29(1), 12–20. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2008.04.010>
- Rousu, P., Rousu, P., & Anttila, J. (2002). Sustainable pulp production from agricultural waste. *Resources, Conservation and Recycling*, 35(1–2), 85–103. [https://doi.org/10.1016/S0921-3449\(01\)00124-0](https://doi.org/10.1016/S0921-3449(01)00124-0)
- Rubinos, D. A., & Spagnoli, G. (2018). Utilization of waste products as alternative landfill liner and cover materials—A critical review. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 48(4), 376–438. <https://doi.org/10.1080/10643389.2018.1461495>
- Sabedot, S., & Pereira Neto, T. J. (2017). Desempenho ambiental dos catadores de materiais recicláveis

- em Esteio (RS). *Engenharia Sanitaria E Ambiental*, 22(1), 103–109. <https://doi.org/10.1590/s1413-41522016155686>
- Sakaguchi, L., Pak, N., & Potts, M. D. (2018). Tackling the issue of food waste in restaurants: Options for measurement method, reduction and behavioral change. *Journal of Cleaner Production*, 180, 430–436. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.12.136>
- Sakai, S., Yoshida, H., Hirai, Y., Asari, M., Takigami, H., Takahashi, S., ... Chi, N. K. (2011). International comparative study of 3R and waste management policy developments. *Journal of Material Cycles and Waste Management*, 13(2), 86–102. <https://doi.org/10.1007/s10163-011-0009-x>
- Santibáñez, C., Varnero, M. T., & Bustamante, M. (2011). Residual Glycerol from Biodiesel Manufacturing, Waste or Potential Source of Bioenergy: A Review. *Chilean Journal of Agricultural Research*, 71(3), 469–475. <https://doi.org/10.4067/S0718-58392011000300019>
- Saphores, J. D. M., Nixon, H., Ogunseitan, O. A., & Shapiro, A. A. (2009). How much e-waste is there in US basements and attics? Results from a national survey. *Journal of Environmental Management*, 90(11), 3322–3331. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2009.05.008>
- Sarath, P., Biswal, M., Mohanty, S., & Nayak, S. K. (2018). Effect of silicone rubber based impact modifier on mechanical and flammability properties of plastics recovered from waste mobile phones. *Journal of Cleaner Production*, 171, 209–219. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.10.024>
- Sasaki, S., Araki, T., Tambunan, A. H., & Prasadja, H. (2014). Household income, living and working conditions of dumpsite waste pickers in Bantar Gebang: Toward integrated waste management in Indonesia. *Resources, Conservation and Recycling*, 89, 11–21. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2014.05.006>
- Sathiparan, N., & De Zoysa, H. T. S. M. (2018). The effects of using agricultural waste as partial substitute for sand in cement blocks. *Journal of Building Engineering*, 19(March), 216–227. <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2018.04.023>
- Sciences, U. F. R., & Abidjan, C.-. (2009). Article original Exposition environnementale à des déchets contenant et de l'hydrogène sulfuré (Abidjan), 8, 519–527.
- Sealey, K. S., & Smith, J. (2014). Recycling for small island tourism developments: Food waste composting at Sandals Emerald Bay, Exuma, Bahamas. *Resources, Conservation and Recycling*, 92, 25–37. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2014.08.008>
- Seguela, G., Littlewood, J. R., & Karani, G. (2017). Onsite Food Waste Processing as an Opportunity to Conserve Water in a Medical Facility Case Study, Abu Dhabi. *Energy Procedia*, 111(September 2016), 548–557. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.03.217>
- Senthilkumar, K., Mollier, A., Delmas, M., Pellerin, S., & Nesme, T. (2014). Phosphorus recovery and recycling from waste: An appraisal based on a French case study. *Resources, Conservation and Recycling*, 87, 97–108. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2014.03.005>
- Serrano, A., Feroso, F. G., Rodriguez-Gutierrez, G., Fernandez-Bolanos, J., & Borja, R. (2017). Biomethanization of olive mill solid waste after phenols recovery through low-temperature thermal

- pre-treatment. *WASTE MANAGEMENT*, 61, 229–235.
<https://doi.org/10.1016/j.wasman.2016.12.033>
- Shamshiry, E., Nadi, B., Bin Mokhtar, M., Komoo, I., Saadiah Hashim, H., & Yahaya, N. (2011). Integrated models for solid waste management in tourism regions: Langkawi Island, Malaysia. *Journal of Environmental and Public Health*, 2011. <https://doi.org/10.1155/2011/709549>
- Sharma, P., & Melkania, U. (2018a). Effect of phenolic compounds on hydrogen production from municipal solid waste. *Waste Management*, 78, 115–123.
<https://doi.org/10.1016/j.wasman.2018.05.039>
- Sharma, P., & Melkania, U. (2018b). Enhancement effect of amino acids on hydrogen production from organic fraction of municipal solid waste using co-culture of *Escherichia coli* and *Enterobacter aerogenes*. *Energy Conversion and Management*, 163(November 2017), 260–267.
<https://doi.org/10.1016/j.enconman.2018.02.072>
- Shi, H., Liu, H. C., Li, P., & Xu, X. G. (2017). An integrated decision making approach for assessing healthcare waste treatment technologies from a multiple stakeholder. *Waste Management*, 59, 508–517. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2016.11.016>
- Sienkiewicz, M., Janik, H., Borzedowska-Labuda, K., & Kucinska-Lipka, J. (2017). Environmentally friendly polymer-rubber composites obtained from waste tyres: A review. *JOURNAL OF CLEANER PRODUCTION*, 147, 560–571. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.01.121>
- Singh, R. P., Tyagi, V. V., Allen, T., Ibrahim, M. H., & Kothari, R. (2011). An overview for exploring the possibilities of energy generation from municipal solid waste (MSW) in Indian scenario. *RENEWABLE & SUSTAINABLE ENERGY REVIEWS*, 15(9), 4797–4808.
<https://doi.org/10.1016/j.rser.2011.07.071>
- Singh, S., Ramakrishna, S., & Gupta, M. K. (2017). Towards zero waste manufacturing: A multidisciplinary review. *Journal of Cleaner Production*, 168, 1230–1243.
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.09.108>
- Skaggs, R. L., Coleman, A. M., Seiple, T. E., & Milbrandt, A. R. (2018). Waste-to-Energy biofuel production potential for selected feedstocks in the conterminous United States. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 82(September 2017), 2640–2651.
<https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.09.107>
- Soares, L. de S., Moris, V. A. da S., Yamaji, F. M., & Paiva, J. M. F. de. (2015). Utilização de resíduos de borra de café e serragem na moldagem de briquetes e avaliação de propriedades. *Revista Materia*, 20(2), 550–560. <https://doi.org/10.1590/S1517-707620150002.0055>
- Soares, S. R., Finotti, A. R., Prudêncio da Silva, V., & Alvarenga, R. A. F. (2013). Applications of life cycle assessment and cost analysis in health care waste management. *Waste Management*, 33(1), 175–183. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2012.09.021>
- Soma, T. (2017). Gifting, ridding and the “everyday mundane”: the role of class and privilege in food waste generation in Indonesia. *Local Environment*, 22(12), 1444–1460.

<https://doi.org/10.1080/13549839.2017.1357689>

- Spooren, J., Van den Bergh, K., Nielsen, P., & Quaghebeur, M. (2013). Landfilled fine grained mixed industrial waste: Metal recovery. *Acta Metallurgica Slovaca*, 19(3), 160–169.
<https://doi.org/10.12776/ams.v19i3.157>
- Stein, U. H., Wimmer, B., Ortner, M., Fuchs, W., & Bochmann, G. (2017). Maximizing the production of butyric acid from food waste as a precursor for ABE-fermentation. *Science of the Total Environment*, 598, 993–1000. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.04.139>
- Su, J. P., Chiueh, P. Te, Hung, M. L., & Ma, H. W. (2007). Analyzing policy impact potential for municipal solid waste management decision-making: A case study of Taiwan. *Resources, Conservation and Recycling*, 51(2), 418–434. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2006.10.007>
- Sun, N., & Chungpaibulpatana, S. (2017). Development of an Appropriate Model for Forecasting Municipal Solid Waste Generation in Bangkok. *Energy Procedia*, 138, 907–912.
<https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.10.134>
- Suresh, S. S., Bonda, S., Mohanty, S., & Nayak, S. K. (2018). A review on computer waste with its special insight to toxic elements, segregation and recycling techniques. *Process Safety and Environmental Protection*, 116, 477–493. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2018.03.003>
- Swaffield, J., Evans, D., & Welch, D. (2018). Profit, reputation and “doing the right thing”: Convention theory and the problem of food waste in the UK retail sector. *Geoforum*, 89(March 2017), 43–51.
<https://doi.org/10.1016/j.geoforum.2018.01.002>
- Tamayo Orbegozoa, U., Molinaa, M. A. V., & Olaizolab, J. I. (2012). La gestión de residuos en la empresa: Motivaciones para su implantación y mejoras asociadas. *Investigaciones Europeas de Direccion Y Economia de La Empresa*, 18(3), 216–227. <https://doi.org/10.1016/j.iedee.2012.05.001>
- Tanner, S., Katra, I., Argaman, E., & Ben-Hur, M. (2018). Erodibility of waste (Loess) soils from construction sites under water and wind erosional forces. *Science of the Total Environment*, 616–617, 1524–1532. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.10.161>
- Tella, M., Bravin, M. N., Thuriès, L., Cazevieille, P., Chevassus-Rosset, C., Collin, B., ... Doelsch, E. (2016). Increased zinc and copper availability in organic waste amended soil potentially involving distinct release mechanisms. *Environmental Pollution*, 212, 299–306.
<https://doi.org/10.1016/j.envpol.2016.01.077>
- Top, Y. (2015). Waste generation and utilisation in micro-sized furniture-manufacturing enterprises in Turkey. *Waste Management*, 35, 3–11. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2014.09.028>
- Tsai, W.-T. (2012). An Analysis of Waste Management Policies on Utilizing Biosludge as Material Resources in Taiwan. *SUSTAINABILITY*, 4(8), 1879–1887. <https://doi.org/10.3390/su4081879>
- Vaccari, M., Bella, V. Di, Vitali, F., & Collivignarelli, C. (2013). From mixed to separate collection of solid waste: Benefits for the town of Zavidovići (Bosnia and Herzegovina). *Waste Management*, 33(2), 277–286. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2012.09.012>
- Vaccari, M., Tudor, T., & Perteghella, A. (2018). Costs associated with the management of waste from

- healthcare facilities: An analysis at national and site level. *WASTE MANAGEMENT & RESEARCH*, 36(1), 39–47. <https://doi.org/10.1177/0734242X17739968>
- Vandecasteele, C., & van der Sloot, H. (2011). Sustainable management of waste and recycled materials in construction. *WASTE MANAGEMENT*, 31(2, SI), 199–200. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2010.11.001>
- Vasconcelose Freita, C. L., Dos Santos, V. M. L., Dos Santos, J. E., & Da Silva, T. C. C. (2016). Reciclagem de resíduos de construção e demolição (RCD): Um estudo de caso na usina de beneficiamento de resíduos de Petrolina-PE. *Revista de Gestao Social E Ambiental*, 10(1), 93–109. <https://doi.org/10.5773/rgsa.v10i1.1121>
- Ventorino, V., Parillo, R., Testa, A., Viscardi, S., Espresso, F., & Pepe, O. (2016). Chestnut green waste composting for sustainable forest management: Microbiota dynamics and impact on plant disease control. *JOURNAL OF ENVIRONMENTAL MANAGEMENT*, 166, 168–177. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2015.10.018>
- Vishwakarma, V., & Ramachandran, D. (2018). Green Concrete mix using solid waste and nanoparticles as alternatives – A review. *Construction and Building Materials*, 162, 96–103. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.11.174>
- Vitale, G., Mosna, D., Bottani, E., Montanari, R., & Vignali, G. (2018). Environmental impact of a new industrial process for the recovery and valorisation of packaging materials derived from packaged food waste. *Sustainable Production and Consumption*, 14, 105–121. <https://doi.org/10.1016/j.spc.2018.02.001>
- Vitorino de Souza Melaré, A., Montenegro González, S., Faceli, K., & Casadei, V. (2017). Technologies and decision support systems to aid solid-waste management: a systematic review. *Waste Management*, 59, 567–584. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2016.10.045>
- von Kameke, C., & Fischer, D. (2018). Preventing household food waste via nudging: An exploration of consumer perceptions. *Journal of Cleaner Production*, 184, 32–40. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.02.131>
- Vu, M. T., Chao, H. P., Van Trinh, T., Le, T. T., Lin, C. C., & Tran, H. N. (2018). Removal of ammonium from groundwater using NaOH-treated activated carbon derived from corncob wastes: Batch and column experiments. *Journal of Cleaner Production*, 180, 560–570. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.01.104>
- Wallace, T., Gibbons, D., O'Dwyer, M., & Curran, T. P. (2017). International evolution of fat, oil and grease (FOG) waste management – A review. *Journal of Environmental Management*, 187, 424–435. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2016.11.003>
- Wang, J., Wu, H., Duan, H., Zillante, G., Zuo, J., & Yuan, H. (2016). Combining life cycle assessment and Building Information Modelling to account for carbon emission of building demolition waste: A case study. *Journal of Cleaner Production*, 172, 3154–3166. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.11.087>
- Wang, J. Y., Touran, A., Christoforou, C., & Fadlalla, H. (2004). A systems analysis tool for construction

- and demolition wastes management. *Waste Management*, 24(10), 989–997.
<https://doi.org/10.1016/j.wasman.2004.07.010>
- Wang, S., Li, W. D., & Xia, K. (2016). Customized disassembly and processing of waste electrical and electronic equipment. *Manufacturing Letters*, 9, 7–10. <https://doi.org/10.1016/j.mfglet.2016.07.001>
- Wang, T., Wang, J., Wu, P., Wang, J., He, Q., & Wang, X. (2018). Estimating the environmental costs and benefits of demolition waste using life cycle assessment and willingness-to-pay: A case study in Shenzhen. *Journal of Cleaner Production*, 172, 14–26. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.10.168>
- Wang, W., Tian, Y., Zhu, Q., & Zhong, Y. (2017). Barriers for household e-waste collection in China: Perspectives from formal collecting enterprises in Liaoning Province. *Journal of Cleaner Production*, 153, 299–308. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.03.202>
- Wang, Z., Wang, C., Zhang, C., & Li, W. (2017). Ultrasound-assisted enzyme catalyzed hydrolysis of olive waste and recovery of antioxidant phenolic compounds. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 44, 224–234. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2017.02.013>
- Wickham, R., Xie, S., Galway, B., Bustamante, H., & Nghiem, L. D. (2018). Anaerobic digestion of soft drink beverage waste and sewage sludge. *Bioresource Technology*, 262(March), 141–147.
<https://doi.org/10.1016/j.biortech.2018.04.046>
- Wilewska-Bien, M., & Anderberg, S. (2018). Reception of sewage in the Baltic Sea – The port’s role in the sustainable management of ship wastes. *Marine Policy*, 93(December 2017), 207–213.
<https://doi.org/10.1016/j.marpol.2018.04.012>
- Williams, T. G. J. L., Heidrich, O., & Sallis, P. J. (2010). A case study of the open-loop recycling of mixed plastic waste for use in a sports-field drainage system. *Resources, Conservation and Recycling*, 55(2), 118–128. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2010.08.002>
- Winslow, K. M., Laux, S. J., & Townsend, T. G. (2018). A review on the growing concern and potential management strategies of waste lithium-ion batteries. *Resources, Conservation and Recycling*, 129(July 2017), 263–277. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.11.001>
- Woon, K. S., & Lo, I. M. C. (2016). An integrated life cycle costing and human health impact analysis of municipal solid waste management options in Hong Kong using modified eco-efficiency indicator. *RESOURCES CONSERVATION AND RECYCLING*, 107, 104–114.
<https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2015.11.020>
- Xin-Gang, Z., Gui-Wu, J., Ang, L., & Yun, L. (2016). Technology, cost, a performance of waste-to-energy incineration industry in China. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 55, 115–130.
<https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.10.137>
- Yang, C., Peijun, L., Lupi, C., Yangzhao, S., Diandou, X., Qian, F., & Shasha, F. (2009). Sustainable management measures for healthcare waste in China. *WASTE MANAGEMENT*, 29(6), 1996–2004.
<https://doi.org/10.1016/j.wasman.2008.11.031>
- Yañez-Ocampo, G., Somoza-Coutiño, G., Blanco-González, C., & Wong-Villarreal, A. (2017). Utilization of agroindustrial waste for biosurfactant production by native bacteria from chiapas. *Open*

- Agriculture, 2(1), 341–349. <https://doi.org/10.1515/opag-2017-0038>
- Yau, Y. (2010). Domestic waste recycling, collective action and economic incentive: The case in Hong Kong. *Waste Management*, 30(12), 2440–2447. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2010.06.009>
- Yazid, N. A., Barrena, R., & Sánchez, A. (2016). Assessment of protease activity in hydrolysed extracts from SSF of hair waste by and indigenous consortium of microorganisms. *Waste Management*, 49, 420–426. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2016.01.045>
- Yıldız-Geyhan, E., Altun-Çiftçioğlu, G. A., & Kadırgan, M. A. N. (2017). Social life cycle assessment of different packaging waste collection system. *Resources, Conservation and Recycling*, 124(February 2016), 1–12. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.04.003>
- Yokoyama, K., Onda, T., Kashiwakura, S., & Nagasaka, T. (2006). Waste Input-Output analysis on “Landfill mining activity{”}. *MATERIALS TRANSACTIONS*, 47(10), 2582–2587. <https://doi.org/10.2320/matertrans.47.2582>
- Youcai, Z., Stucki, S., Ludwig, C., & Wochele, J. (2004). Impact of moisture on volatility of heavy metals in municipal solid waste incinerated in a laboratory scale simulated incinerator. *Waste Management*, 24(6), 581–587. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2004.01.004>
- Yuan, H. (2012). A model for evaluating the social performance of construction waste management. *Waste Management*, 32(6), 1218–1228. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2012.01.028>
- Yukalang, N., Clarke, B., & Ross, K. (2017). Barriers to effective municipal solid waste management in a rapidly urbanizing area in Thailand. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 14(9), 9–14. <https://doi.org/10.3390/ijerph14091013>
- Yusoff, N. A., Ngadi, N., Alias, H., & Jusoh, M. (2017). Chemically treated chicken bone waste as an efficient adsorbent for removal of acetaminophen. *Chemical Engineering Transactions*, 56, 925–930. <https://doi.org/10.3303/CET1756155>
- Zakir Hossain, H. M., Hasna Hossain, Q., Uddin Monir, M. M., & Ahmed, M. T. (2014). Municipal solid waste (MSW) as a source of renewable energy in Bangladesh: Revisited. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 39, 35–41. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.07.007>
- Zarrinbakhsh, N., Wang, T., Rodriguez-Uribe, A., Misra, M., & Mohanty, A. K. (2016). Characterization of wastes and coproducts from the coffee industry for composite material production. *BioResources*, 11(3), 7637–7653. <https://doi.org/10.15376/biores.11.3.7637-7653>
- Zeng, X., Wang, F., Li, J., & Gong, R. (2017). A simplified method to evaluate the recycling potential of e-waste. *Journal of Cleaner Production*, 168, 1518–1524. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.06.232>
- Zhang, D., Huang, G., Xu, Y., & Gong, Q. (2015). Waste-to-Energy in China: Key Challenges and Opportunities. *ENERGIES*, 8(12), 14182–14196. <https://doi.org/10.3390/en81212422>
- Zhang, L., & Sun, X. (2017). Using cow dung and spent coffee grounds to enhance the two-stage co-composting of green waste. *Bioresource Technology*, 245(August), 152–161. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2017.08.147>
- Zhang, W., Alvarez-Gaitan, J., Dastyar, W., Saint, C., Zhao, M., & Short, M. (2018). Value-Added

- Products Derived from Waste Activated Sludge: A Biorefinery Perspective. *Water*, 10(5), 545.
<https://doi.org/10.3390/w10050545>
- Zhao, L., Zhang, F. S., Chen, M., Liu, Z., & Wu, D. B. J. (2010). Typical pollutants in bottom ashes from a typical medical waste incinerator. *Journal of Hazardous Materials*, 173(1–3), 181–185.
<https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2009.08.066>
- Zhao, W., Leefink, R. B., & Rotter, V. S. (2010). Evaluation of the economic feasibility for the recycling of construction and demolition waste in China-The case of Chongqing. *Resources, Conservation and Recycling*, 54(6), 377–389. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2009.09.003>
- Zhao, X. gang, Jiang, G. wu, Li, A., & Wang, L. (2016). Economic analysis of waste-to-energy industry in China. *Waste Management*, 48, 604–618. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2015.10.014>
- Zhou, B., Sun, C., & Yi, H. (2017). Solid Waste Disposal in Chinese Cities: An Evaluation of Local Performance. *Sustainability*, 9(12), 2234. <https://doi.org/10.3390/su9122234>
- Zhou, C., Wang, R., & Zhang, Y. (2010). Fertilizer efficiency and environmental risk of irrigating Impatiens with composting leachate in decentralized solid waste management. *Waste Management*, 30(6), 1000–1005. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2010.02.010>
- Zhu, F., Takaoka, M., Oshita, K., & Morisawa, S. (2011). The calcination process in a system for washing, calcinating, and converting treated municipal solid waste incinerator fly ash into raw material for the cement industry. *Journal of the Air and Waste Management Association*, 61(7), 740–746.
<https://doi.org/10.3155/1047-3289.61.7.740>
- Zuberi, M. J. S., & Ali, S. F. (2015). Greenhouse effect reduction by recovering energy from waste landfills in Pakistan. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 44, 117–131.
<https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.12.028>
- Zuorro, A., Lavecchia, R., & Natali, S. (2014). Magnetically modified agro-industrial wastes as efficient and easily recoverable adsorbents for water treatment. *Chemical Engineering Transactions*, 38, 349–354. <https://doi.org/10.3303/CET1438059>

Anexo 2. Ecuaciones/funciones de valor de las relaciones del modelo dinámico

Las ecuaciones del modelo dinámico se presentan a continuación.

Participación

$$\frac{dPar}{dt} = \frac{dTH}{dt} \quad (1)$$

donde:

Par – Participación

T – Transparencia

H – Hábitos

Políticas

$$\frac{dPol}{dt} = C_{Pol} \frac{dD}{dt} \quad (2)$$

donde:

Pol – Políticas

D – Decisores

C_{Pol} – Coeficiente de relación entre políticas y decisores (valor inicial 0.5)

Generación per cápita

$$\frac{dGPC}{dt} = C_{GPC} \frac{dN}{dt} \left(\frac{dParPol}{dt} \right)^{-1} \quad (3)$$

donde:

GPC – Generación per cápita

N – Nivel de ingreso

C_{GPC} – Coeficiente de ajuste de GPC (valor inicial 0.024455)

Residuos generados

$$\frac{dRS}{dt} = \left(\frac{1}{1000} \times \frac{dGPCPob}{dt} \right) + \frac{dRI}{dt} - \frac{dFT}{dt} - \frac{dPR}{dt} \quad (4)$$

donde:

RS – Residuos generados

Pob – Población

RI – Generación informal de residuos

FT – Flujo de residuos por transporte

PR – Producción con M&E de residuos

1/1000 – Constante de conversión de unidades, de kilogramos a toneladas

Regulación

$$\frac{dReg}{dt} = C_{Reg} \frac{dD}{dt} \quad (5)$$

donde:

Reg – Regulación

D – Decisores

C_{Reg} – Coeficiente de relación entre regulación y decisores (valor inicial 0.5)

Proveedores

$$\frac{dPro}{dt} = \left(\frac{dM}{dt} + \frac{dE}{dt} + \frac{dT_i}{dt} \right) \frac{dReg}{dt} \quad (6)$$

donde:

Pro – Proveedores

M – Municipios/Alcaldías con prestan directamente el servicio de residuos (valor inicial 0.7)

E – Empresas que prestan el servicio de residuos (valor inicial 0.05)

T_i – Trabajadores informales relacionados con el servicio de residuos (valor inicial 0.25)

Operación

$$\frac{dOpr}{dt} = C_{Opr} \frac{dPro}{dt} \quad (7)$$

donde:

Opr – Operación

C_{Opr} – Coeficiente de ajuste por operación (valor inicial 2871.22)

Financiamiento

$$\frac{dFin}{dt} = \frac{dPub}{dt} + \frac{dPri}{dt} + \frac{dCoi}{dt} \quad (8)$$

donde:

Fin – Financiamiento

Pub – Financiamiento del sector público

Pri – Financiamiento del sector privado

Coi – Financiamiento de la cooperación internacional

Flujo de residuos por transporte

$$\frac{dFT}{dt} = \left[\left(\frac{dRS}{dt} - \frac{dRA}{dt} \right) \left(\frac{dOpr}{dt} \right)^{-1} \right] \frac{dFin}{dt} \quad (9)$$

donde:

RA – Residuos aprovechables

Residuos aprovechables

$$\frac{dRA}{dt} = \left(C_{FT} C_{RA} \frac{dFT}{dt} \right) - \frac{dFN}{dt} - \frac{dFME}{dt} \quad (10)$$

donde:

FN – Flujo de nutrientes aprovechables

FME – Flujo de materiales y energía aprovechable

C_{FT} – Coeficiente de relación entre residuos aprovechables y flujo de transporte (valor inicial 0.22)

C_{RA} – Coeficiente de ajuste por residuos aprovechables (valor inicial 11187.8)

Residuos contaminantes

$$\frac{dRC}{dt} = C_{1-FT} C_{RC} \frac{dFT}{dt} \quad (11)$$

donde:

RC – Residuos contaminantes

C_{1-FT} – Coeficiente de relación entre residuos contaminantes y flujo de transporte, correspondiente al valor complementario de C_{FT} (valor inicial 0.78)

C_{RC} – Coeficiente de ajuste por residuos contaminantes (valor inicial 9664.73)

Salud pública

$$\frac{dSP}{dt} = -C_{SP} \frac{dRC}{dt} \quad (12)$$

donde:

SP – Salud pública

C_{SP} – Coeficiente de relación entre salud pública y residuos contaminantes (valor inicial 0.3)

Ambiente

$$\frac{dA}{dt} = -C_{SP} \frac{dRC}{dt} + C_{FNA} \frac{dFN}{dt} + \frac{dPPR}{dt} \quad (13)$$

donde:

A – Ambiente

C_A – Coeficiente de relación entre el ambiente y los residuos contaminantes, correspondiente al valor complementario de C_{SP} (valor inicial 0.7)

C_{FNA} – Coeficiente de eficiencia en el aprovechamiento de los nutrientes en el ambiente (valor inicial 0.5)

PPR – Productos para el sector primario derivados de residuos

Gases de efecto invernadero

$$\frac{dGEI}{dt} = C_{GEI} \frac{dA}{dt} \quad (14)$$

donde:

GEI – Gases de efecto invernadero

C_{GEI} – Coeficiente de relación entre GEI y ambiente (valor inicial 0.3)

Lixiviados

$$\frac{dLix}{dt} = -C_{Lix} \frac{dA}{dt} \quad (15)$$

donde:

Lix – Lixiviados

C_{Lix} – Coeficiente de relación entre lixiviados y ambiente (valor inicial 0.3)

Residuos sólidos

$$\frac{dRes}{dt} = C_{Res} \frac{dA}{dt} \quad (16)$$

donde:

Res – Residuos sólidos

C_{Res} – Coeficiente de relación entre residuos sólidos y ambiente (valor inicial 0.4)

Flujo de nutrientes aprovechables

$$\frac{dFN}{dt} = C_{FN} \frac{dRA}{dt} \quad (17)$$

donde:

C_{FN} – Coeficiente de relación entre flujo de nutrientes y residuos aprovechables, correspondiente al valor de residuos orgánicos (valor inicial 0.55)

Productos para el sector primario derivado de residuos

$$\frac{dPPR}{dt} = C_{FNP} \frac{dFN}{dt} \quad (18)$$

donde:

C_{FNP} – Coeficiente de eficiencia en el aprovechamiento de los nutrientes para elaborar productos primarios de residuos que se apliquen en el ambiente (valor inicial 0.5)

Flujo de materiales y energía aprovechable

$$\frac{dFME}{dt} = C_{FME} \frac{dRA}{dt} \quad (19)$$

donde:

C_{FME} – Coeficiente de relación entre flujo de materiales y energía y residuos aprovechables, correspondiente al valor de residuos inorgánicos (valor inicial 0.45)

Materiales y energía perdida

$$\frac{dMEP}{dt} = \frac{dFME}{dt} - \frac{dEDR}{dt} - \frac{dMPR}{dt} \quad (20)$$

donde:

MEP- Materiales y energía perdida

EDR – Energía de residuos

MPR – Materia prima de residuos

Energía de residuos

$$\frac{dEDR}{dt} = \frac{C_{EDR}}{2} \frac{dFME}{dt} \quad (21)$$

donde:

C_{EDR} – Coeficiente de eficiencia en la transformación de los residuos en energía (valor inicial 0.85)

Materia prima de residuos

$$\frac{dMPR}{dt} = \frac{C_{MPR}}{2} \frac{dFME}{dt} \quad (22)$$

donde:

C_{MPR} – Coeficiente de eficiencia en la transformación de los residuos en materia prima (valor inicial 0.60)

Producción M&E de residuos

$$\frac{dPR}{dt} = \frac{dEDR}{dt} + \frac{dMPR}{dt} + \frac{dPPR}{dt} \quad (23)$$

Anexo 3. Escenarios analizados con VensimPLE

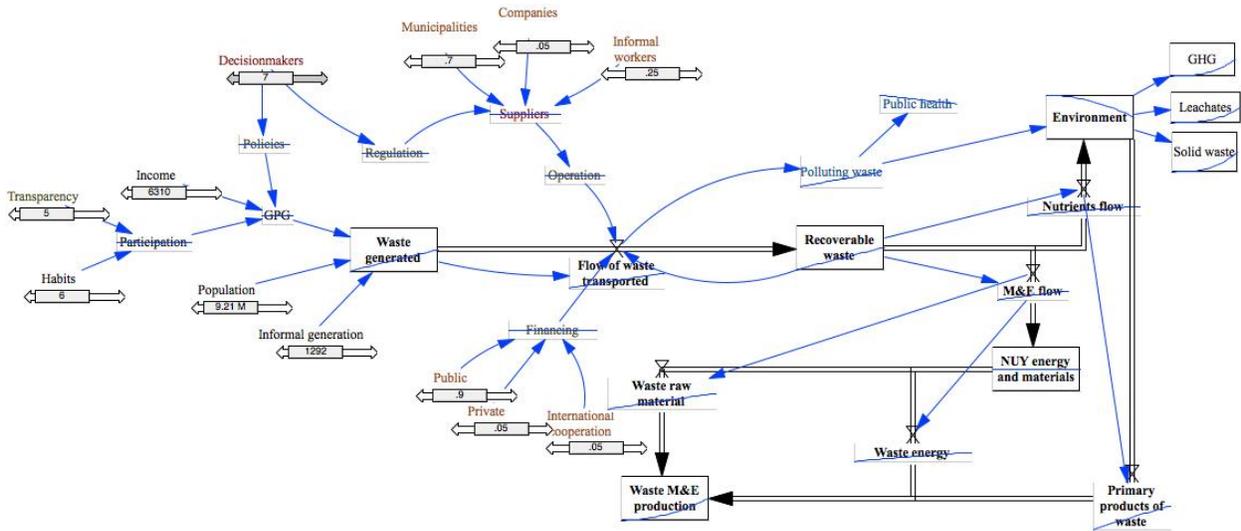


Figura 12. mD-SWM4CDMX escenario sin retroalimentación con mejoras 10-90

Fuente: elaboración propia

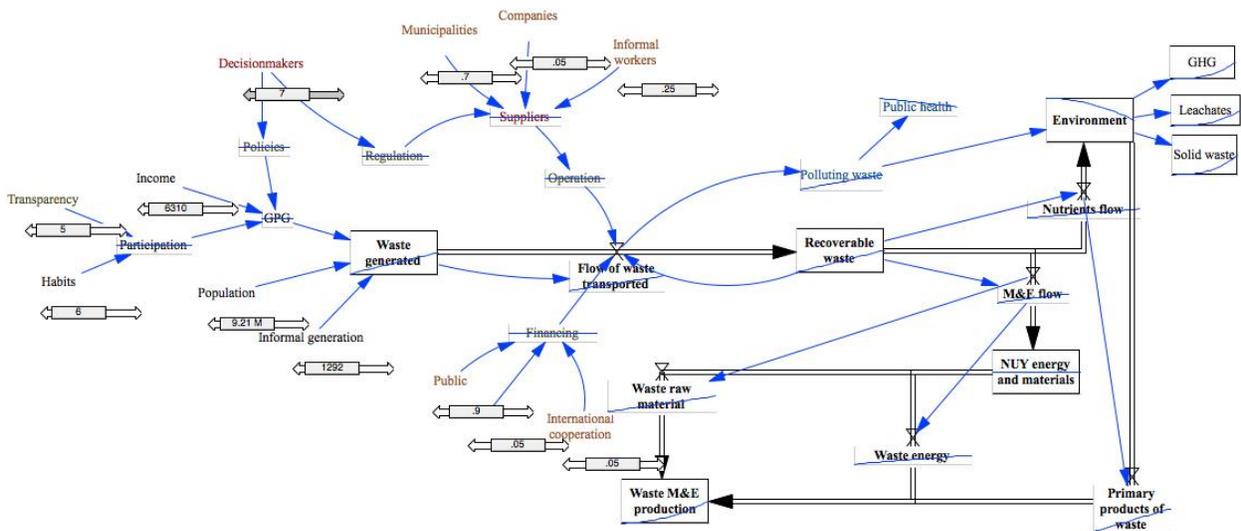


Figura 13. mD-SWM4CDMX escenario sin retroalimentación con mejoras 30-70

Fuente: elaboración propia

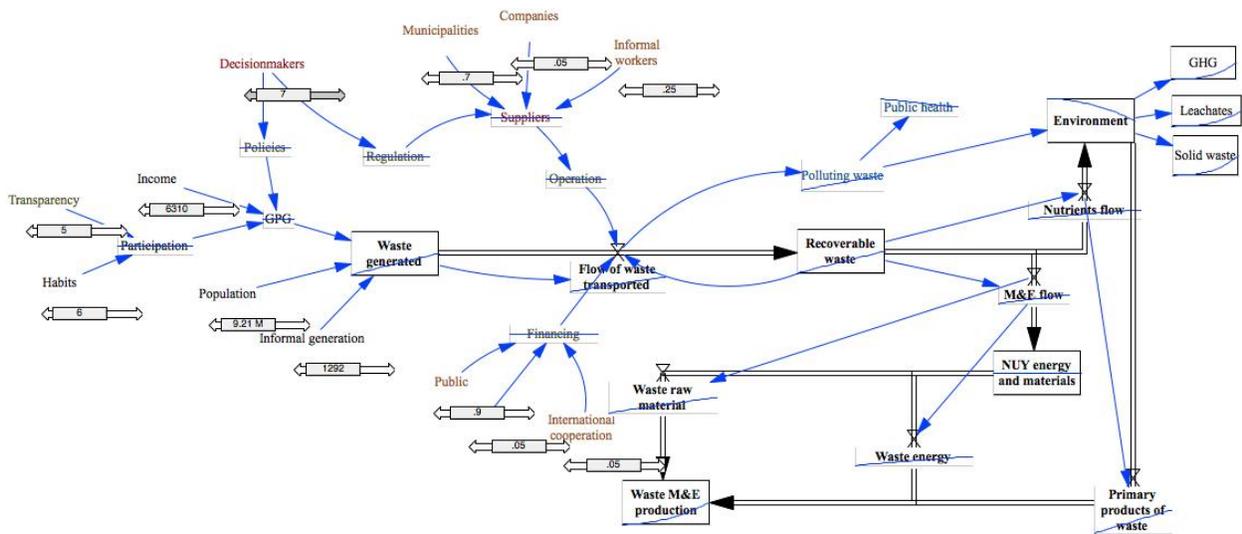


Figura 14. mD-SWM4CDMX escenario sin retroalimentación con mejoras 40-60

Fuente: elaboración propia

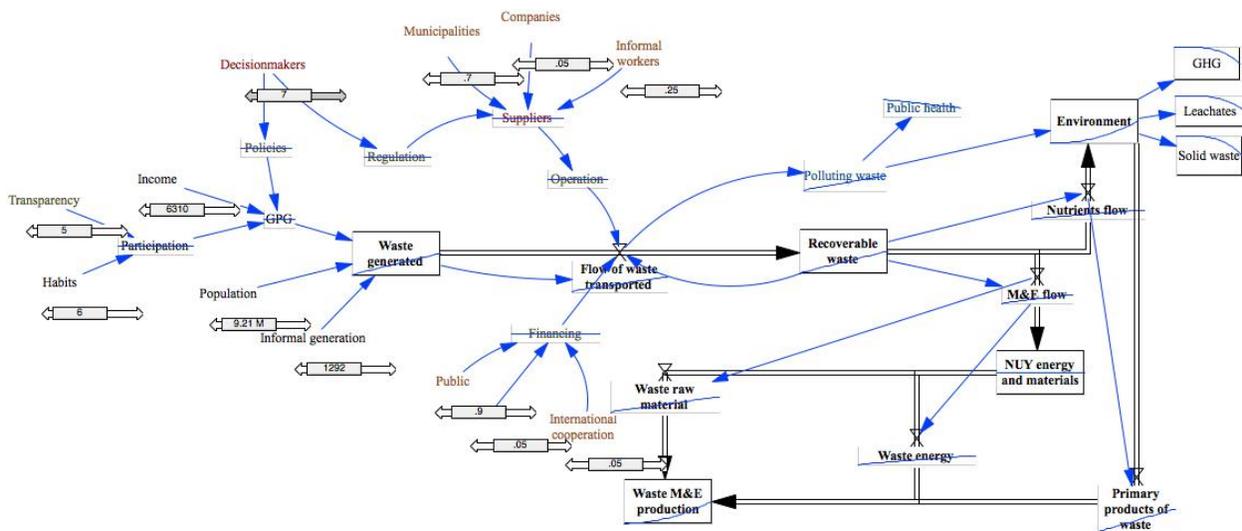


Figura 15. mD-SWM4CDMX escenario sin retroalimentación con mejoras 70-30

Fuente: elaboración propia

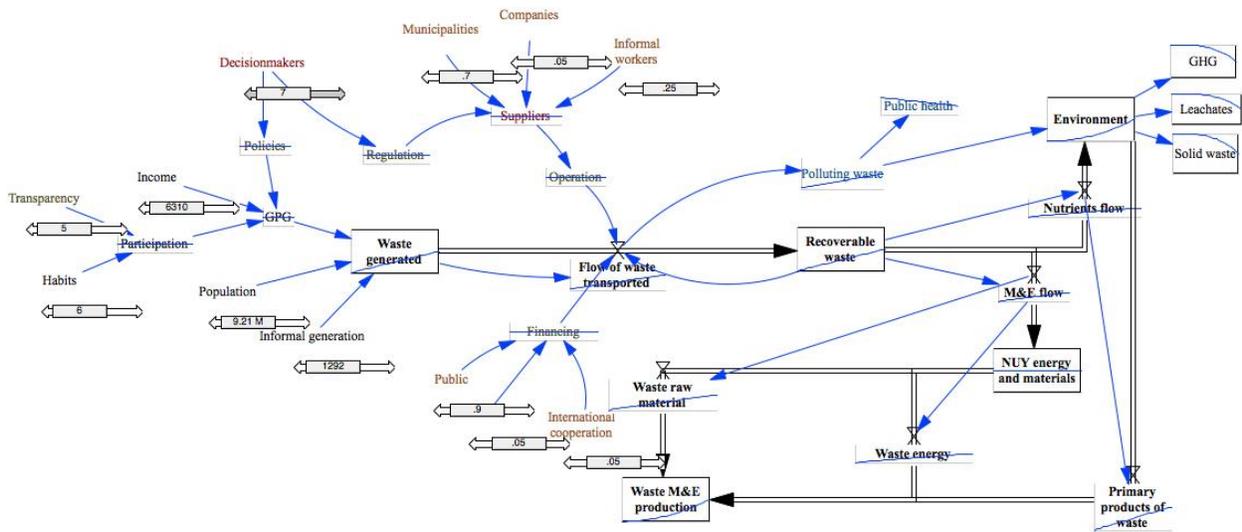


Figura 16. mD-SWM4CDMX escenario sin retroalimentación con mejoras 80-20

Fuente: elaboración propia

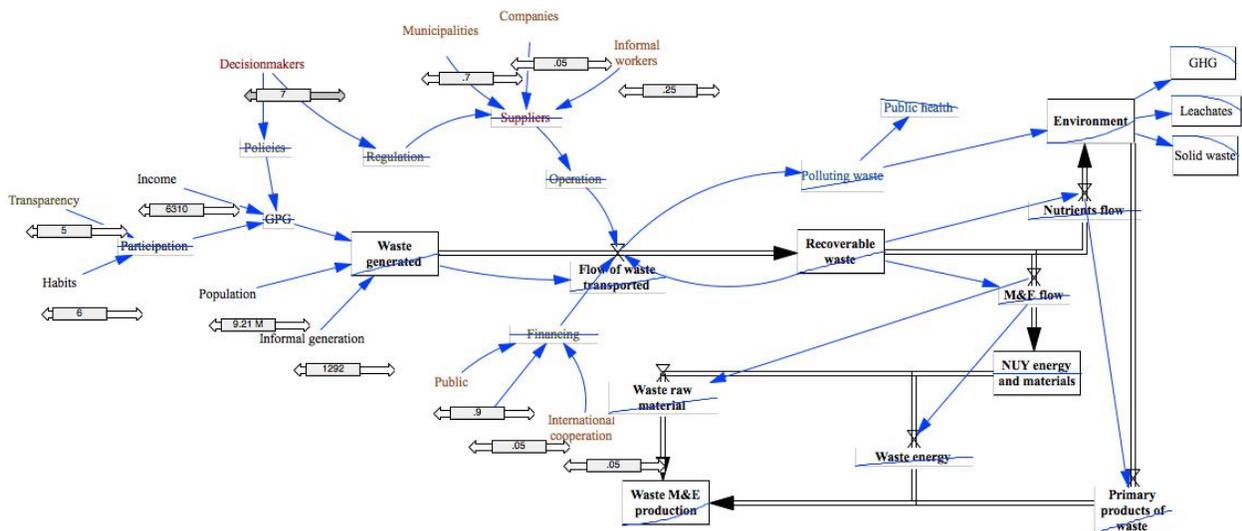


Figura 17. mD-SWM4CDMX escenario sin retroalimentación con mejoras 90-10

Fuente: elaboración propia

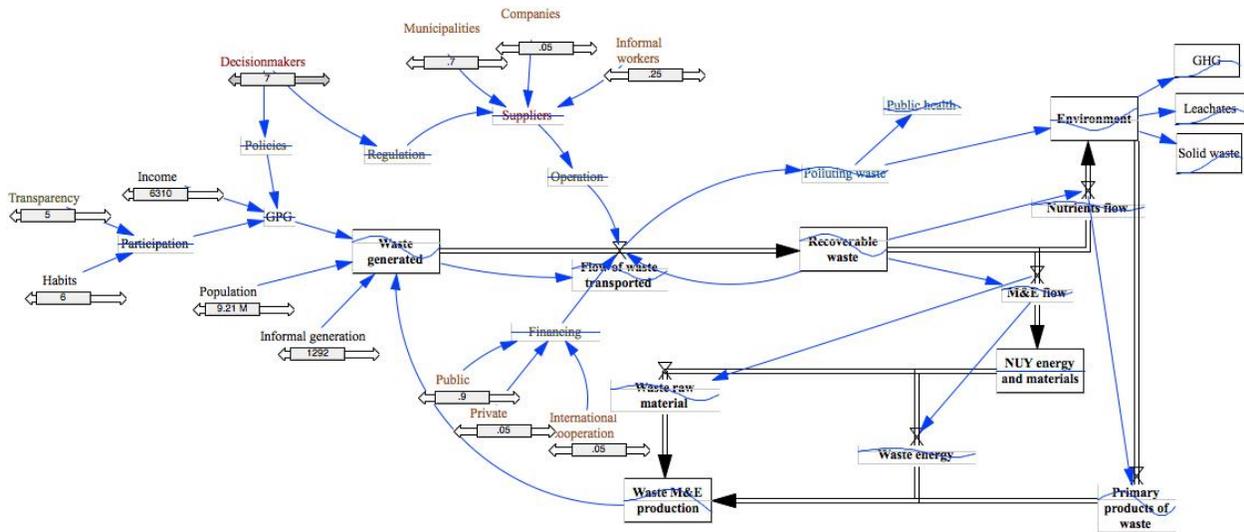


Figura 18. mD-SWM4CDMX escenario sostenibilidad 10-90

Fuente: elaboración propia

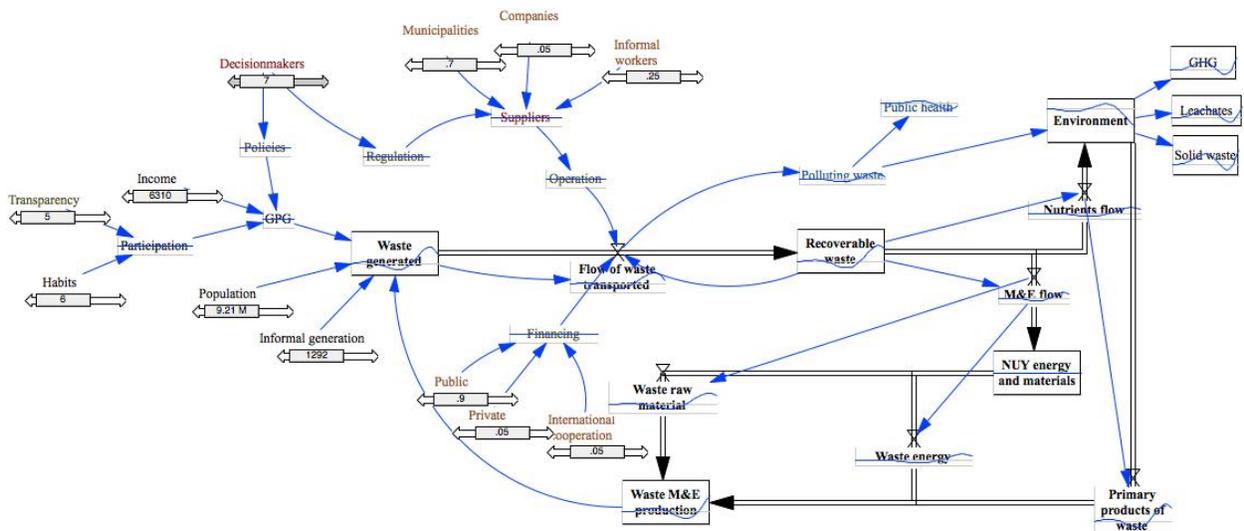


Figura 19. mD-SWM4CDMX escenario sostenibilidad 30-70

Fuente: elaboración propia

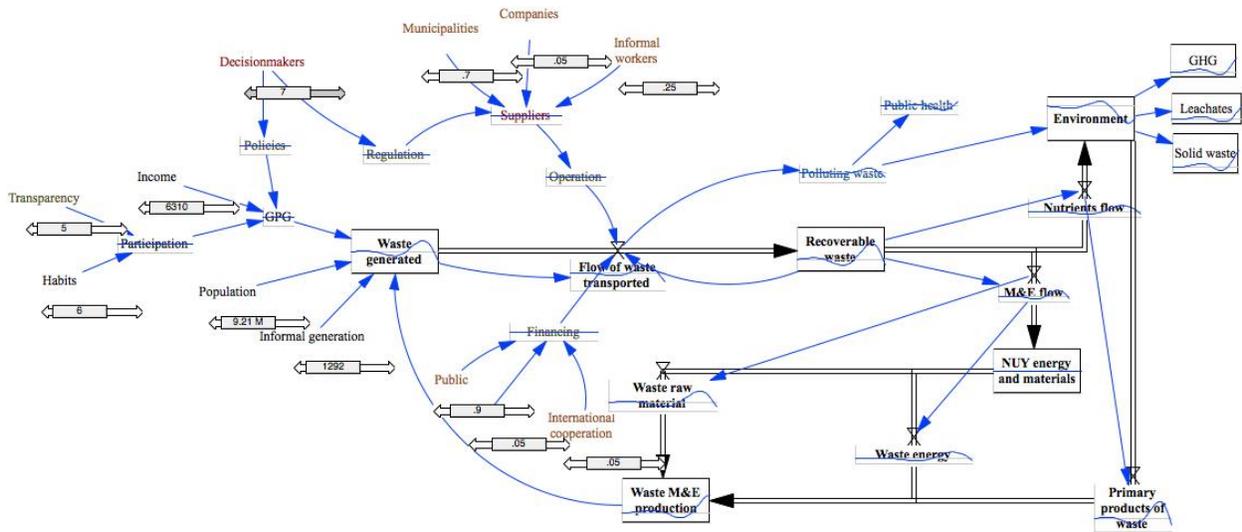


Figura 20. mD-SWM4CDMX escenario sostenibilidad 40-60

Fuente: elaboración propia

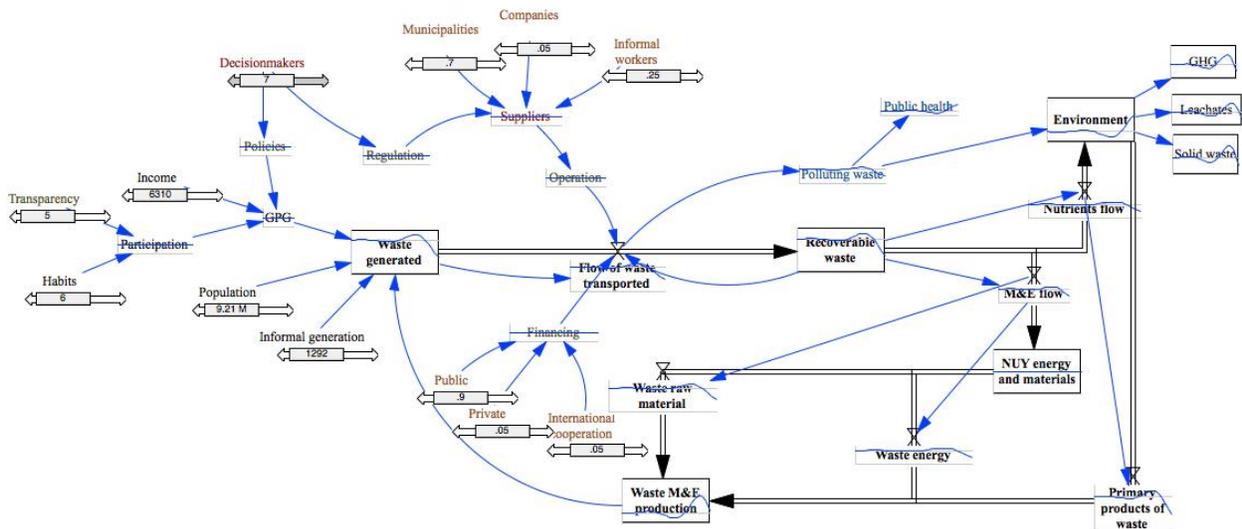


Figura 21. mD-SWM4CDMX escenario sostenibilidad 60-40

Fuente: elaboración propia

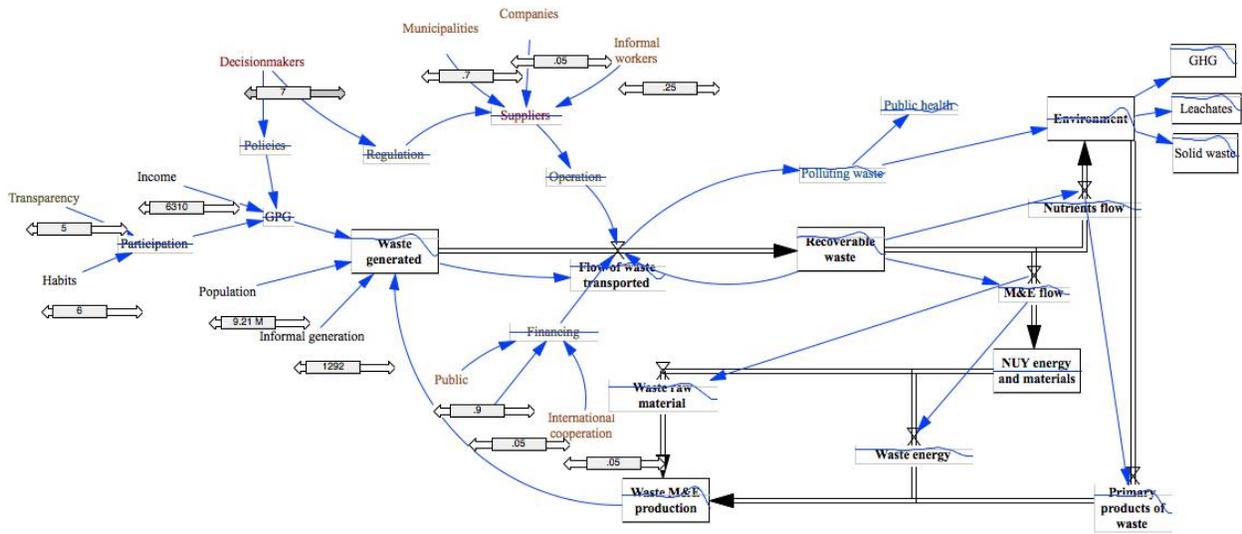


Figura 22. mD-SWM4CDMX escenario sostenibilidad 80-20

Fuente: elaboración propia

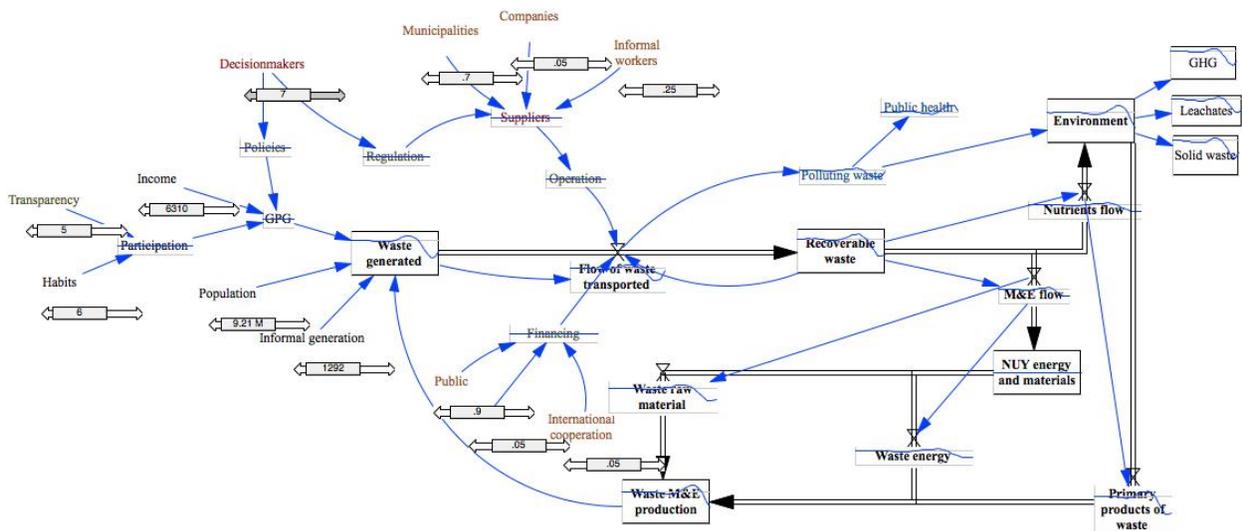


Figura 23. mD-SWM4CDMX escenario sostenibilidad 90-10

Fuente: elaboración propia

Anexo 4. Artículo publicado

Jacintos Nieves, A.; Delgado Ramos, G.C. Advancing the Application of a Multidimensional Sustainable Urban Waste Management Model in a Circular Economy in Mexico City. *Sustainability* **2023**, *15*, 12678.

<https://doi.org/10.3390/su151712678>