



ANÁLISIS ECONÓMICO Y FINANCIERO EN EL MANEJO INTEGRAL DE RESIDUOS SÓLIDOS EN LOS MUNICIPIOS DE LA ZONA 4 DEL ECUADOR

Mary Cruz MEZA RIVAS
Qaleon Consultoría
maryc-11@hotmail.com

Recibido: 16 de marzo del 2021

Enviado a evaluar: 23 de marzo del 2021

Aceptado: 16 de diciembre del 2021

RESUMEN

Los residuos sólidos hacen referencia a los materiales sólidos que se desechan después de ser usados, consumidos o producidos. Estos vienen ligados al aumento del consumo y pueden convertirse en un gran problema para las administraciones, debido a que deben ser dispuestos en algún sitio que no suponga un problema para la salud pública ni para el medio ambiente. La construcción de sitios correctos de disposición final, así como la implementación de un adecuado manejo de residuos supone una inversión considerable de dinero que muchas administraciones gubernamentales no están dispuestas a permitirselo, sobre todo en un país como el Ecuador, donde aún existen botaderos a cielo abierto, y donde la falta de medidas de recuperación o separación desde la fuente predomina en los municipios del país. Al analizar la gestión integral de residuos sólidos de los Municipios de Manabí y Santo Domingo en Ecuador desde un enfoque financiero, económico, social y ambiental se busca abarcar un problema actual que ha sido poco examinado en el país y proveer de herramientas a las administraciones y la sociedad en general en el manejo de los recursos que permitan acercar a un desarrollo sostenible.

Palabras clave: Desarrollo económico, Coste-Beneficio, Manejo de Residuos Sólidos, Beneficio Social Total, Ecuador, Excedente del consumidor.

ECONOMIC AND FINANCIAL ANALYSIS OF SOLID WASTE MANAGEMENT IN THE MUNICIPALITIES OF ECUADOR'S ZONE 4

ABSTRACT

Solid waste refers to solid materials that are discarded after they have been used, consumed or produced. It is linked to increased consumption and can become a major problem for administrations because it must be disposed of somewhere that does not pose a problem for public health and the environment.

The construction of proper disposal sites, as well as the implementation of adequate waste management, requires a considerable investment of money that many government administrations are not willing to afford, especially in a country like Ecuador, where open dumps still exist, and where the lack of recovery or separation

measures at the source predominates in the country's municipalities.

By analysing the integrated management of solid waste in the municipalities of Manabí and Santo Domingo in Ecuador from a financial, economic, social and environmental perspective, the aim is to address a current problem that has been little examined in the country and to provide tools for the administrations and society in general in the management of resources that will allow them to move towards sustainable development.

Keywords: Economic development, Cost-Benefit analysis, Municipal solid waste management, total social benefit, Ecuador, consumer surplus.

ANALYSE ECONOMIQUE ET FINANCIERE DANS LA GESTION INTÉGRALE DES DÉCHETS SOLIDES DANS LES MUNICIPALITÉS DE LA ZONE 4 DE L'ÉQUATEUR

RÉSUMÉ

Les déchets solides désignent les matières solides qui sont jetées après avoir été utilisées, consommées ou produites. Ceux-ci sont liés à une consommation accrue et peuvent devenir un problème majeur pour les administrations, car ils doivent être éliminés dans un endroit qui ne pose pas de problème pour la santé publique ou l'environnement. La construction de sites d'élimination finale corrects, ainsi que la mise en œuvre d'une gestion adéquate des déchets, suppose un investissement d'argent considérable que de nombreuses administrations gouvernementales ne sont pas disposées à autoriser, en particulier dans un pays comme l'Équateur, où il existe encore des décharges ouvertes, et où l'absence de mesures de récupération ou de séparation à la source prédomine dans les municipalités du pays. En analysant la gestion intégrale des déchets solides des municipalités de Manabí et Saint-Domingue en Équateur à partir d'une approche financière, économique, sociale et environnementale, il cherche à couvrir un problème actuel peu étudié dans le pays et à fournir des outils aux administrations et la société en général dans la gestion des ressources qui permettent d'aborder le développement durable.

Mots-clés: Développement économique, analyse coûts-avantages, gestion des déchets solides municipaux, avantage social total, Équateur, surplus du consommateur.

1. INTRODUCCIÓN

El crecimiento económico y de la población, así como la rápida urbanización, proyectan que, en los próximos treinta años el nivel de desechos sólidos producidos en el mundo aumenten en un 70% (Banco Mundial, 2018). Estas variables, sumadas al aumento del consumo, influyen en la existencia de mayores productos en el mercado, que a su vez se convertirán en desechos.

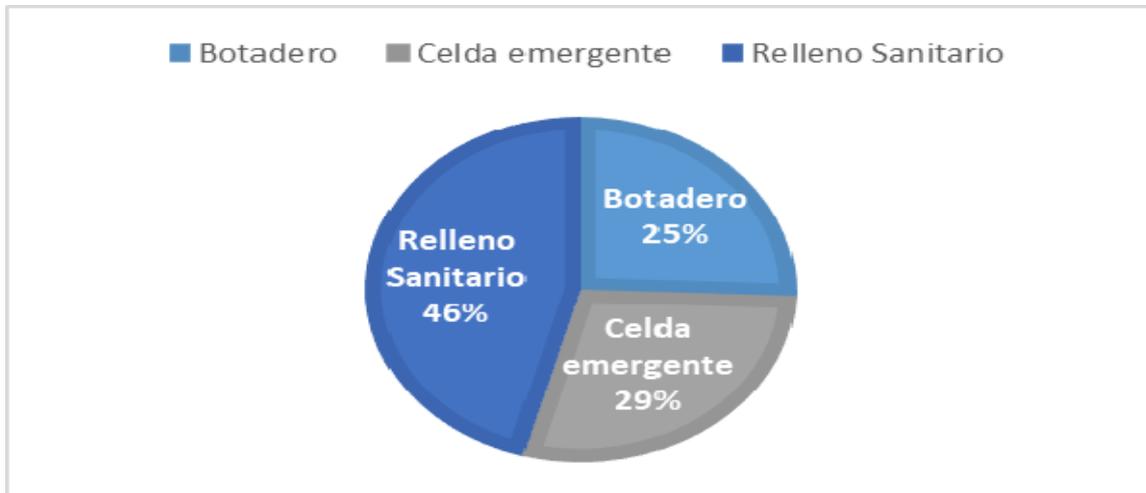
De la misma manera, los indicadores ambientales a nivel mundial señalan que con el paso del tiempo se están generando más residuos, generando problemas ambientales en los ecosistemas urbanos, sobre todo por el reto al que se enfrentan los gobiernos ante la gestión y eliminación de dichos desechos. De acuerdo a un informe presentado por el Banco Mundial en 2017 (2018), en el mundo se generan anualmente 2010 millones de toneladas de RSM, y un dato importante a destacar, es que al menos el 33% de estos residuos, se gestionan con riesgo para el medio ambiente.

Dentro de este contexto, los países que sufren mayores estragos en materia de gestión de residuos son los que tienen menores ingresos, una de las razones es por la gran cantidad de zonas rurales, donde acceder con el servicio es más complicado convirtiéndose en un desafío para las administraciones. De acuerdo con el Banco Mundial (2018), en países de bajos recursos se recoge alrededor del 48% de los desechos en las zonas urbanas y solo el 26% en las zonas rurales, donde generalmente los desechos son vertidos o quemados a cielo abierto. Sumado a ello, el reciclaje también es una asignatura pendiente en países con bajos ingresos, donde solo el 4% es aprovechado, con relación al 13,5% a nivel mundial, que tampoco es una cifra muy elevada.

La gestión integral de residuos sólidos es un proceso complejo en el que

muchos los actores implicados y, cuyo resultado en la mayoría de las ocasiones es desconocido por la población en general. En lo que respecta a la generación de residuos en el Ecuador, en el año 2017 un habitante de la zona urbana produjo 0,86 Kg/día de residuos, que corresponde a una recolección total de 12.337,26 toneladas diarias, de las cuales de las cuales el 84,3 % (10.395,25 ton/día) fueron recolectadas de manera no diferenciada y el 15,7 % (1.942,01 ton/día) de manera diferenciada. A esto hay que sumarle que aún el 25,6% de los sitios de disposición final corresponde a botaderos no controlados (Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INEC), 2020) (Ver Gráfico 1).

Gráfico 1. Disposición final de residuos en Ecuador año 2017



Fuente: Elaboración propia a través de (Asociación de Municipalidades Ecuatorianas (AME), 2019)

Es por ello, que al analizar la gestión integral de residuos sólidos en el Ecuador, desde un enfoque económico y social se busca abarcar un problema actual del país, el cual ha sido revisado de manera poco profunda, ya que desde el año 2010 que empezó el Programa Nacional para la Gestión Integral de Desechos Sólidos (PNGIDS), cuya meta principal contemplaba que un 70% de la población del Ecuador disponga sus desechos en un relleno sanitario técnicamente manejado hasta el 2017, sin embargo, como se pudo

ser observado en el gráfico anterior, esa meta no fue cumplida, y los municipios de todo el país se han visto en la necesidad de tomar medidas para llegar a esa meta, pero con soluciones a corto plazo, como la inversión en una celda emergente con una vida útil de dos años, con el uso de financiación propia o proporcionada por el banco del estado, lo cual genera endeudamiento y problemas en el futuro,

Se genera una alerta cuando hablamos de la zona 4 (Provincias de Manabí y Santo Domingo), las cuales suman en total 24 municipios, de los cuales el 29% aún seguía realizando la disposición final de desechos en botaderos a cielo abierto hasta el año 2017. (Asociación de Municipalidades Ecuatorianas (AME), 2019) Así también las estadísticas demuestran que existe un subsidio de la Gestión de Residuos Sólidos por parte de los Municipios, ya que el gasto generado en su manejo es mayor a las recaudaciones que perciben por tasas, tarifas u otros ingresos para el manejo de los residuos. Este subsidio asciende al 59% del gasto en la Zona 4 del Ecuador.

Gráfico 2. Financiamiento en el manejo de residuos Zona 4 - año 2017



Fuente: Elaboración propia a través de (Asociación de Municipalidades Ecuatorianas (AME), 2019)

El financiamiento de estos costes económicos, en muchos países la población paga tarifas fijas en las facturas de los servicios básicos como el agua o la luz para cubrir los gastos que genera la recolección barrido o disposición final, sin embargo, en muchas ocasiones la eficiencia social no se ve reflejada en los costes totales, ya que no contempla aspectos que no permiten que haya un equilibrio entre los beneficios que percibe la sociedad con relación a los servicios que los municipios están entregando.

Para monetizar estos beneficios, se realizan valoraciones económicas, lo cual, por medio de un análisis de alternativas, permite adoptar decisiones racionales. "El término evaluación económica se reserva a aquellos estudios que evalúan comparativamente dos o más alternativas a través de la medición y valoración sistemática de los costes y resultados de cada una de ellas" (Pinto Prades and Sánchez Martínez, 2003). Una evaluación económica, debe reunir en su análisis tanto costos monetarios, como otro tipo de beneficios

relacionados con las condiciones de vida del grupo que se está analizando, ya sean estos beneficios sociales o de rentabilidad. La evaluación económica implica cuantificar tanto los beneficios como los costes. Respecto a los costes, estos resultan más sencillos de cuantificar debido a que para llevar a cabo un proyecto hay un gasto de dinero que depende de unos ingresos respecto, sin embargo, por el lado de los beneficios, si no corresponden a beneficios monetarios, la situación se complica (Rojas, 2016).

Para conceptualizar el término coste dentro del contexto de la literatura económica, hay que indicar que dicho término se utiliza para referirse al esfuerzo, sacrificio o pérdida susceptible de valoración. En un ambiente donde los recursos económicos son escasos, el uso de un recurso va a incurrir en un coste. Es así como, dentro de los costes, se aplica el concepto de coste de oportunidad, es decir, el coste de utilizar recursos con un fin específico, medido por el beneficio al que se renuncia al no utilizarlos. (Sotelo et al., 2011)

En el caso de los sistemas de manejo integral de residuos sólidos, se corresponde a un proyecto social que influye directamente a la ciudadanía, y tienen una característica importante para su formulación y evaluación y es que las actividades de los proyectos no generan ni directa ni automáticamente cambios que conlleven un aumento en el bienestar de la población, por tal motivo el impacto sobre el bienestar, se va a producir indirectamente a través de la cadena que propone Mokate (1993) y que sigue esta secuencia:

INVERSIÓN → ACCIÓN → RESULTADO → EFECTO → AUMENTO EN EL STOCK DEL BIEN MERITORIO ("IMPACTO") → MEJORÍA EN EL BIENESTAR

Los tipos de costes que pueden ser abordados en una evaluación económica de acuerdo con Rojas (2016) son:

- Costes directos: Son gastos de inversión en personal, formación, bienes muebles e inmuebles.
- Costes indirectos: Los costes que no se relacionan directamente con las actividades, y son por ejemplo los gastos de administración o funcionamiento.
- Costes de oportunidad: Es el coste en el que se incurre por seleccionar una alternativa y rechazar otra.
- Costes valorizados: Es cuando la actividad o servicio se presenta de manera altruista o solidaria.
- Coste marginal: Es el coste de producir una unidad adicional o la variación del coste total ante el aumento de una unidad adicional.

Y los tipos de beneficios existentes pueden ser: Los beneficios percibidos por las personas, los beneficios monetarios y los beneficios objetivos no monetarios.

Una vez que se han determinado los conceptos de los costes y beneficios, hay que decidir el tipo de evaluación que se va a utilizar para medir el rendimiento económico de la gestión de residuos.

Pinto & Sanchez (2003) distinguen dos modalidades de evaluación económica de acuerdo a la forma en que se midan y se valore los resultados o beneficios derivados del objeto de análisis. Si la cuantificación de los resultados se los realiza en unidades monetarias,

al igual que los costes, se habla de un Análisis Coste Beneficio (ACB). Por el contrario, la medida y valoración de los resultados se realiza en unidades no monetarias, se desarrolla un análisis Coste Efectividad (ACE), sin embargo, si se utiliza como unidad de medida de los resultados Los años de vida ajustados por la calidad (AVACs) se considera una modalidad de evaluación con identidad propia que es el análisis coste utilidad.

2. ANÁLISIS ECONÓMICO Y FINANCIERO EN EL MIRSU EN LOS CANTONES DE MANABÍ Y SANTO DOMINGO DE ECUADOR

Para llevar a cabo este análisis técnico-económico, se tiene como fundamento la teoría económica, partiendo desde la teoría del consumidor y del productor, a los cuales se les define sus respectivos excedentes. Dichos excedentes provienen de un contexto de precios de mercado. Para conseguir una medida monetaria del beneficio económico, se parte desde la teoría que el consumidor busca la maximización de su utilidad, ya sea nivel de bienestar, precios o nivel de renta, así como otros factores que pueden influir como en el caso de este estudio, la calidad de medio ambiente, aceptación al recibir los servicios, etc., suponiéndolos constantes (Labandeira et al., 2007). El objetivo de este apartado entonces es medir el beneficio o satisfacción que pueden experimentar los ciudadanos en el consumo de determinados bienes o servicios como es el manejo integral de residuos sólidos mediante un análisis coste beneficio.

Al realizar el análisis económico del manejo integral de residuos a través del análisis coste beneficio, se procede a evaluar monetariamente desde el punto de vista de la sociedad en su conjunto los respectivos costes y beneficio que puedan relacionarse con las alternativas planteadas. Para ello se procederá a la estimación y evaluación de los beneficios netos obtenidos en el manejo integral de residuode la zona analizada.

La comparación se realiza desde diversos criterios y variables que permitirán evaluar si el sistema de residuos sólidos es operativamente viable, así como económicamente viable, mediante la determinación de los beneficios sociales. Si el proyecto presenta un beneficio social neto positivo, es decir que sus beneficios sociales superan los costes sociales, significa que el sistema de residuos sólidos es socialmente aceptable.

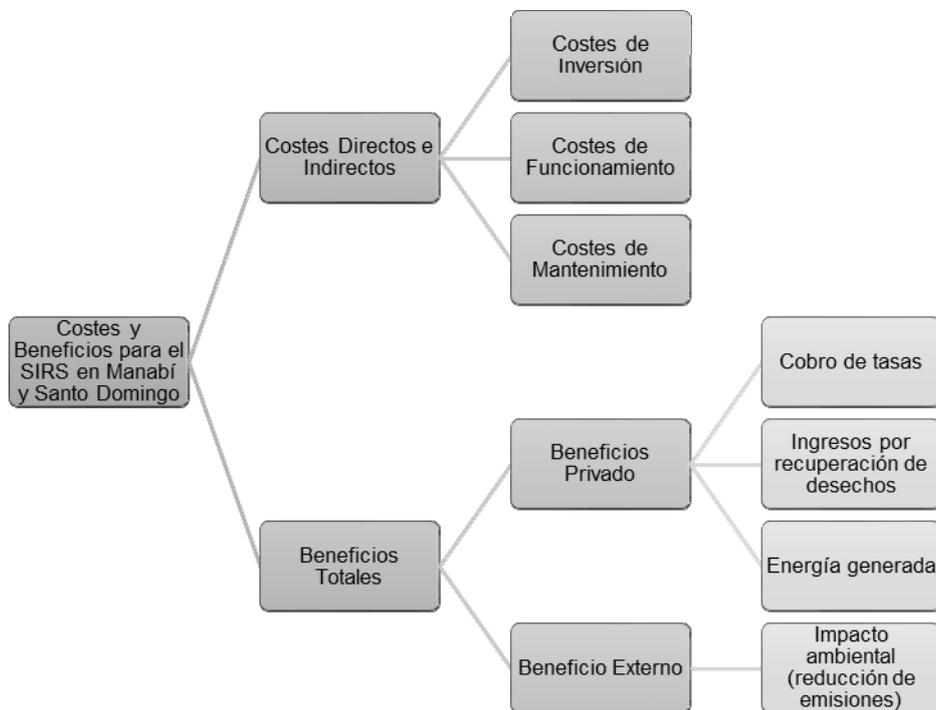
2.1. EL MODELO DE EVALUACIÓN

El objetivo de este análisis técnico-económico es evaluar si el sistema de gestión de RSU aplicado actualmente en la zona 4 del Ecuador (Manabí y Santo Domingo) es viable, desde el punto de vista económico social y ambiental, asociados con la gestión de los residuos domiciliarios en la zona mencionada, considerando la posibilidad de impactos externos. El modelo de evaluación económica a utilizar para calcular el beneficio social total del proyecto consiste en determinar los excedentes de los consumidores y productores para obtener un excedente total que corresponde a los beneficios totales netos de la sociedad.

2.2. DEFINICIÓN DEL MARCO DE ANÁLISIS

Este análisis económico va a centrarse únicamente en el lugar de disposición final de los municipios estudiados. Es importante indicar que, de acuerdo con la investigación realizada, hasta el momento de la realización de este trabajo de investigación, no existía en ninguno de los municipios un proceso formal de recuperación de desechos ya sea mediante la asociación con empresas de reciclaje, o el tratamiento diferenciado en el punto de disposición final o algún tipo de planta.

Gráfico 3. Costes y Beneficios para el SIRS en la zona 4 del Ecuador.



Fuente: Elaboración propia

Actualmente existen proyectos en diversos cantones para incentivar el reciclaje a través de personas que se dedican a este trabajo de manera informal, denominados en estos territorios como "chamberos", ubicándose en muchos cantones en los alrededores de los vertederos para separar lo que pueda servirles, poniendo en riesgo su salud y la de su familia. Como esta actividad no es considerada formal, y no se tiene ningún levantamiento de información, no se da por hecho que no existe un proceso de reciclaje, ni separación en la fuente como se ha revisado previamente. Con respecto a la disposición final, se analizó en capítulos anteriores que actualmente existen tres tipos de sitios utilizados en Manabí y Santo Domingo, los cuales: Botadero controlado, Relleno Sanitario y Celda Emergente. Por motivos de análisis y sobre todo para hacer una distinción de maximización de beneficios, se realizará un análisis general de todos los cantones, y

posteriormente se hará un enfoque en uno, de los más grandes de la zona, y sobre todo que ha sido tomado como ejemplo por manejo de residuos y buenas prácticas.

Según Medina-Mijangos et al. (2020), para considerar un proyecto o política sea rentable desde el punto de vista social, sus beneficios sociales deben superar sus costes sociales. Se habla de beneficios o ingresos como el aumento del bienestar humano, y los costes serían por tanto las reducciones del bienestar humano.

A continuación, se muestran los parámetros para tener en cuenta en el ACB y los supuestos de partida, resumidos en el Gráfico 3:

A. Costes de la Gestión Integral de Residuos:

Los costes de llevar a cabo el proceso tanto de barrido, recolección y disposición final de los residuos sólidos pueden dividirse en tres grupos:

- Costes de inversión.
- Costes de funcionamiento.
- Costes de mantenimiento.

B. Beneficios del proyecto:

Teniendo en cuenta las características del proyecto analizado, y tomando como referencia la metodología propuesta por Medina-Mijangos et al., (2020) para el análisis técnico-económico de los sistemas de sistemas de residuos sólidos municipales basada en el análisis social de costes y beneficios con una valoración de las externalidades van a ser considerados dos tipos de beneficios:

- Beneficio privado
- Beneficio externo

2.2.1. TASA SOCIAL DE DESCUENTO

Para la valoración los beneficios y costes se va a utilizar una tasa de descuento social, *"la cual refleja en qué medida, desde el punto de vista de una sociedad, un beneficio presente es más valioso que el mismo beneficio que se obtendrá en el futuro. La teoría de la tasa de preferencia social temporal concibe la tasa social de descuento como aquella que resume las preferencias del conjunto de la sociedad por el consumo presente"* (Correa, 2006).

La tasa social de descuento que se va a considerar en este trabajo es la rentabilidad de la deuda pública ecuatoriana en el último periodo que es 7.85% correspondiente a los bonos a 5 años (Banco Central del Ecuador (BCE), 2021)

2.2.2. CÁLCULO DE BENEFICIOS Y COSTES TOTALES

Para el cálculo de los parámetros de cuantificación de beneficios y costes sociales que dará paso a la valoración del beneficio total, se procede a identificar los actores implicados. Las partes interesadas o involucradas en un proyecto pueden ser personas, grupos u organizaciones que están relacionadas de alguna manera, ya sea con las posibles soluciones o con el problema (Gomez et al., 2013).

- Las entidades gubernamentales o responsables de la gestión de residuos sólidos que en Ecuador son los Municipios, Empresas Municipales, Mancomunidades de los 24 cantones analizados.
- Entidades del gobierno central como son Asociación de Municipalidades del Ecuador, Ministerio de Ambiente, Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo.
- La población que recibe el servicio de aseo.
- Grupos de recicladores o empresas que se dedican a la gestión de reciclaje o recuperación.
- El resto de la sociedad, que se vería beneficiada o perjudicada por los efectos externos no internalizados como es el caso de las emisiones ambientales.

Se identifica también para quien se realiza la evaluación económica, ya que de ello dependerá los impactos que se consideren y el tratamiento de la información. En este caso el análisis va a ser realizado desde el punto de vista de los gobiernos municipales o las empresas encargadas de la gestión pública, porque se busca descubrir si se obtienen beneficios o no ya sea económicos o sociales con el manejo de los residuos sólidos.

En este análisis se van a expresar los costes e ingresos en unidades monetarias por toneladas de residuos.

Para la utilización del método de cálculo de los beneficios sociales, se toma como referencia la "Guide to Cost Benefit Analysis of Investment Projects" (European Commission, 2014) donde se presentan dos metodologías de cálculo, de los que se escoge el enfoque del cambio de los excedentes de los agentes sociales como consecuencia del proyecto. Por medio de la utilización de este método, se puede conocer los beneficiados o perjudicados en la ejecución del proyecto. Se utiliza también la metodología propuesta por Medina-Mijangos et al (2020).

A. Evaluación de costes para los productores

a) Costes de inversión: Son todos los gastos relacionados con la implementación de un nuevo sistema que permitirán llevar a cabo un manejo de residuos sólidos tecnificado. Dichos costes incluyen lo siguiente:

- Costes de los materiales a utilizar para la instalación de un nuevo sistema de disposición final.
- Costes de la instalación de un nuevo sistema de disposición final.
- Compra de nueva tecnología o maquinaria como son recolectores, contenedores, barredora mecánica etc.

Los costes anteriores dependerán de la tecnología que se elija implementar finalmente.

b) Costes de Mantenimiento: Son los costes atribuibles a la conservación de las maquinarias y equipos para garantizar el buen estado o funcionamiento.

c) Costes de Funcionamiento: Son los costes correspondientes a la operación del sistema, es decir, todos los costes relacionados con la operación ya sean salarios de empleados, costes de administración, energía.

B. Evaluación de costes para los usuarios y la sociedad

Uno de los principales costes para la sociedad en el MIRS es el coste ambiental, considerada en esta investigación como una de las principales externalidades negativas.

El sector de los residuos sólidos, como se ha indicado previamente, constituye un generador de gases de efecto invernadero (GEI) a través de las emisiones de dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄) y óxido nitroso (N₂O) (Instituto de Ingeniería de la Universidad de Heidelberg, 2009). Esta producción de gases puede darse en las diversas fases del sistema como puede ser en la recogida, transporte y sobre todo en el tratamiento de los residuos en la disposición final.

Un manejo responsable de estas fases, y sobre todo la reducción de residuos desde el origen podría significar un ahorro en los costes de las emisiones (contaminación atmosférica y cambio climático).

Como impactos externos relacionados con el medio ambiente, se han considerado las emisiones de CH₄ generadas por los diferentes sitios de disposición final utilizados en la zona 4. De acuerdo a lo que indican Michaelowa et al. (2018), las guías del IPCC 2006 para inventarios nacionales de GEI indican que en el Ecuador, la disposición de residuos sólidos, incluyendo tanto los municipales, industriales y demás, produce principalmente metano (CH₄), esto se debe a la degradación de la materia orgánica contenida en los residuos depositados, y las diversos procesos y reacciones que se dan en su interior. Con respecto a las emisiones CO₂ que son de las comunes, se indica que no están contabilizadas en los inventarios GEI en la sección de residuos sólidos, porque se dan en menor cantidad, siendo el CH₄ el principal gas generado por el sector residuos.

Actualmente hay 3 tipos de instalaciones utilizadas en la zona estudiada, sin embargo, se debe considerar que la disposición de los RSD en rellenos sanitarios producirá una mayor producción de gases de efecto invernadero (GEI) por efecto de la descomposición anaerobia de los desechos orgánicos (Michaelowa et al., 2018)

Para determinar la huella de carbono en el MRSU se utilizó la herramienta para el cálculo de las emisiones de gases de efecto invernadero mediante el método de análisis de ciclo de vida desarrollada por IFEU y patrocinada por KfW Development Bank en cooperación con GTZ (Institut für Energie- und Umweltforschung and GGmbH, 2010). La herramienta se basa en Excel como una hoja de cálculo en la que se cuantifican las emisiones totales de GEI expresadas en toneladas anuales de CO₂-eq de las diversas estrategias de gestión. Proporciona además información de orientación sobre los costes de emisiones asociados con la estrategia utilizada para la gestión final de residuos. Para realizar el cálculo de la zona 4, se describe un escenario que en la herramienta llaman de Status Quo o escenario actual, es decir, un área de estudios lo más realista posible.

La metodología utilizada comprende dos etapas:

- Cantidad, composición, reciclaje y disposición de RSU: Se ingresa el número de población, la cantidad de tn de residuos producidos al año, porcentaje de reciclaje y disposición de residuos.

- **Cálculo de emisiones GEI:** Para el cálculo de las emisiones GEI se establece la composición de RSU en porcentaje de peso húmedo y se caracterizan los residuos por el contenido de agua. Por falta de datos, se utilizan los valores dados por defecto (default) en la calculadora para economías de bajos ingresos (EBI). Esto se muestra en **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..** Se debe seleccionar también un factor de emisión para la generación eléctrica del país, este factor de emisión es igual a 295 g CO₂-eq/kWh, cuyo valor es dado por defecto para Ecuador en el manual de la herramienta utilizada.

Tabla 1. Valores para la composición de los RSU y contenido de carbono para EBI

Componentes	Default EBI	% De carbono total en residuos húmedos
Residuos de comida	41.9%	15.2%
Residuos de jardines y parques	14.0%	19.6%
Papel, cartón	9.3%	41.4%
Plásticos	6.5%	75.0%
Vidrio	1.9%	0%
Metales ferrosos	1.9%	0%
Aluminio	0.5%	0%
Textiles	3.3%	40.0%
Hule, piel	1.9%	56.3%
Pañales	4.0%	28.0%
Madera	6.0%	42.5%
Residuos minerales	3.0%	0.0%
Otros	5.8%	2.7%

Fuente: Institut für Energie- und Umweltforschung and GGmbH, 2010; Salmerón et al., (2017)

Los resultados obtenidos con la herramienta MRS-GEI describen el escenario actual (Status Quo) de las estimaciones GEI de la zona 4 debido a la disposición final de los residuos, ya sea mediante celda emergente, botadero a cielo abierto o relleno sanitario. Se puede identificar también, las emisiones evitadas por concepto de reciclaje, compostaje o digestión, sin embargo, solo un cantón presenta compostaje y es Santo Domingo. El depósito de residuos en las diversas zonas de disposición final mencionadas genera 695.484 ton/a CO₂-eq para el año 2019 en la zona 4 del Ecuador de acuerdo con Tabla 2 a continuación:

Tabla 2. Emisiones de GEI por disposición final de RSU en t CO₂-eq/año en la Zona 4 del Ecuador en el año 2019

Cantón	Total, de emisiones GEI en t CO ₂ -eq/año	Costos Específicos en euro/t CO ₂ -eq
24 DE MAYO	4.250,74	5,53
BOLÍVAR	9.446,09	2,20
CHONE	34.478,22	4,00
EL CARMEN	37.784,35	0,00
FLAVIO ALFARO	5.667,65	5,82
JAMA	6.612,26	0,00
JARAMIJÓ	9.446,09	0,00
JIPIJAPA	15.113,74	0,00
JUNÍN	6.106,90	5,71
LA CONCORDIA	15.113,74	2,55
MANTA	150.051,1	3,06
MONTECRISTI	28.338,26	4,01
OLMEDO	2.030,91	0,00
PAJÁN	5.195,35	0,00
PEDERNALES	14.925,62	8,04
PICHINCHA	5.117,35	3,24
PORTOVIEJO	151.137,40	3,14
PUERTO LÓPEZ	5.970,25	8,41
ROCAFUERTE	8.501,48	3,94
SAN VICENTE	7.249,59	2,53
SANTO DOMINGO	150.957	
	-185*	
	150.772	4,58
SUCRE	12.793,39	6,98
TOSAGUA	9.381,82	3,20
TOTAL	695.484,31	

*Emisiones evitadas por compostaje

Fuente: Elaboración propia.

C. Cuantificación del beneficio total social

El beneficio social total del SIRS viene dado de acuerdo con la siguiente expresión:

$$BST = BP + BE - CO \quad (1)$$

Donde, BST beneficio social total es igual a la suma de BP beneficio privado, más BE beneficio externo, menos CO coste de oportunidad.

Para la medición basada en el beneficio privado, se requiere estimar el cambio producido en el excedente de los productores que en el SIRS corresponde a los municipios o empresas municipales encargadas de la gestión. El beneficio privado obtenido por el cambio producido en el excedente del productor se presenta en la ecuación (2):

$$BP = \sum_{n=0}^N [(IngT_n) - (CI_n + CM_n + CF_n)] \quad (2)$$

Donde, los costes privados son restados de los ingresos totales ($IngT$) este ingreso es proveniente en todos los cantones estudiados, por concepto de tasas o tarifas. En ninguno de los casos se presenta venta de productos o energía eléctrica. Por otro lado, los costes privados corresponden a la suma de todos aquellos gastos que tienen que asumir las administraciones para llevar a cabo el proceso de barrido, recolección y disposición final. Estos costos corresponden a costes de inversión (CI), costes de mantenimiento (CM) y costes de funcionamiento (CF), todo esto en un año n .

Para la medición basada en el beneficio externo, se requiere estimar las externalidades positivas o negativas producidas en el excedente de los usuarios o la población que en el SIRS corresponde a los usuarios que reciben el servicio de aseo, es decir, a toda la población y así como las personas afectadas por las externalidades ya sean positivas o negativas. El beneficio externo obtenido por el cambio producido en el excedente del consumidor se presenta en la ecuación (3):

$$BE = \sum_{n=0}^N [(EP) - (EN)] \quad (3)$$

Donde las externalidades negativas (EN) o costes externos son restados de las externalidades positivas o ingresos externos (EP).

D. Costo de oportunidad

Según Krugman et al. (2008), los economistas llaman coste de oportunidad (CO) a aquello a lo que se debe renunciar para obtener lo que se desea, es decir, el coste real de un bien es su coste de oportunidad, aquello a lo que se debe renunciar para poder conseguirlo. De acuerdo a González (2004), el costo de oportunidad

desde el punto de vista ideal, nace del rechazo de diversas alternativas carentes de atractivo, de las cuales no se obtiene los resultados esperados. Desde un enfoque económico, se parte desde la teoría que los recursos son escasos y en general, la mayoría tiene usos alternos, por tanto, al producir un bien estamos renunciando a fabricar otro bien con la misma cantidad de recursos. Para aplicar el costo de oportunidad al manejo de RSU se puede partir desde el punto que existen varias alternativas para la disposición final de los desechos, por tanto, el coste de oportunidad estará dado por el que mejor rendimiento proporcione. Otra condición a tomar en cuenta, es cuando no existan usos alternativos como es el caso de los 24 cantones de la zona 4 del Ecuador, en ese caso, el costo de oportunidad viene dado por el rendimiento que proporciona algún instrumento financiero que viene dado por la inversión en alguno de los procesos de este sistema de manejo de RSU (Medina-Mijangos et al., 2020; Seguí Amórtegui et al., 2014). En Ecuador para el año 2019 la tasa de interés de inversión pública o rentabilidad de la deuda pública correspondiente a los bonos de 5^a años fue de 7.85% (Banco Central del Ecuador (BCE), 2021).

2.2.3. APLICACIÓN DEL MODELO

Frente a la aproximación metodológica presentada en los apartados anteriores, el objetivo de este punto consiste en aplicar el modelo de evaluación económica y social del MRSU de los cantones de Manabí y Santo Domingo, con la finalidad de concretar de manera práctica la metodología expuesta.

Para simplificar este estudio de caso se centra únicamente en el análisis de disposición final (sin considerar el proceso de recogida), desde que los residuos llegan a los centros de tratamiento, hasta si lo hubiera, la venta de productos recuperados a los agentes implicados. Si bien se ha indicado que todas las fases proporcionan contaminación de GEI en lo que respecta a las externalidades, para realizar este apartado se utiliza solo la información referente a la disposición final, debido a que se desconoce el principal input para determinar la información de recolección, el cual es la variable de kms recorridos. Para desarrollar este apartado, se consideran los ingresos y costes generados en el año 2019 y los resultados son expresados en dólares por toneladas tratados de cada uno de los cantones (Se ha excluido del análisis el cantón Santa Ana, correspondiente a la provincia de Manabí, porque no se obtuvo ninguna información de este) y en valores totales.

Se utiliza una tasa social de descuento de 7,85%, asumiendo que no existe inflación.

2.2.4. RESULTADOS

Con los datos y la metodología planteada se procede a aplicar el modelo básico descrito, y de manera especial la aproximación basada en los beneficios sociales totales. Se procede a calcular también la expresión **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** o cálculo del beneficio social total.

Tabla 3. Bienestar Social Total MRSU en la zona 4 de Ecuador año 2019.

Cantones	Beneficio Privado \$/ton	Beneficio Externo \$/ton	Coste de Oportunidad \$/ton	Bienestar Social Total \$/ton	Viabilidad Financiera (BP > 0)	Viabilidad Económica (BT > 0)
24 DE MAYO	40,89	-7,26	0,57	33,06	SI es viable	SI es viable
BOLÍVAR	-45,11	-2,89	4,59	-52,59	NO es Viable	NO es Viable
CHONE	-180,76	-5,25	17,06	-203,07	NO es Viable	NO es Viable
EL CARMEN	2,00	0,00	0,19	1,82	SI es viable	SI es viable
FLAVIO ALFARO	-79,85	-7,63	7,14	-94,63	NO es Viable	NO es Viable
JAMA	-78,69	0,00	6,96	-85,66	NO es Viable	NO es Viable
JARAMIJÓ	-128,03	0,00	12,89	-140,91	NO es Viable	NO es Viable
JIPIJAPA	-4,34	0,00	1,81	-6,15	NO es Viable	NO es Viable
JUNÍN	-41,26	-7,50	4,80	-53,56	NO es Viable	NO es Viable
LA CONCORDIA	-42,94	-3,35	4,88	-51,17	NO es Viable	NO es Viable
MANTA	42,51	-4,01	0,31	38,19	SI es viable	SI es viable
MONTECRISTI	38,15	-5,26	1,07	31,83	SI es viable	SI es viable
OLMEDO	-108,57	0,00	16,43	-125,00	NO es Viable	NO es Viable
PAJÁN	-204,68	0,00	18,91	-223,59	NO es Viable	NO es Viable
PEDERNALES	4,76	-9,52	0,75	-5,51	SI es viable	NO es Viable
PICHINCHA	-130,08	-3,84	10,59	-144,52	NO es Viable	NO es Viable
PORTOVIEJO	7,04	-4,12	1,05	1,86	SI es viable	SI es viable
PUERTO LÓPEZ	-1.080,69	-9,97	86,44	-1.177,09	NO es Viable	NO es Viable
ROCAFUERTE	-8,44	-5,17	2,26	-15,87	NO es Viable	NO es Viable
SAN VICENTE	-78,65	-3,00	7,79	-89,44	NO es Viable	NO es Viable
SANTO DOMINGO	6,04	-5,89	1,08	-0,94	SI es viable	NO es Viable
SUCRE	0,31	-8,27	2,47	-10,43	SI es viable	NO es Viable
TOSAGUA	-749,24	-3,79	59,77	-812,80	NO es Viable	NO es Viable

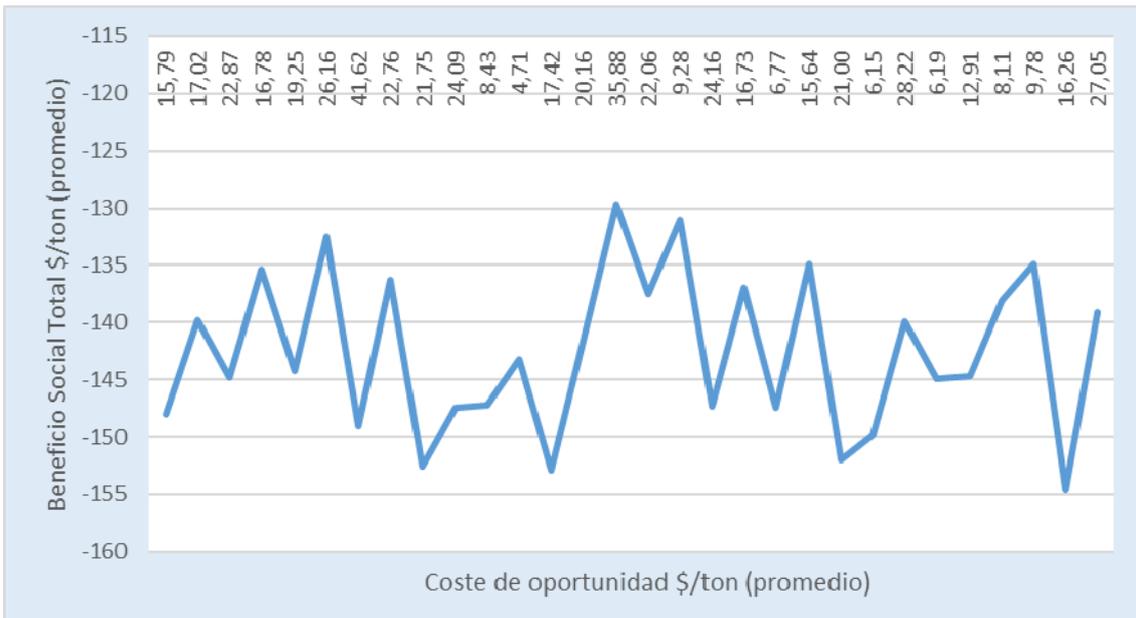
Fuente: Elaboración propia.

En este punto se expresan los beneficios privados y externos en unidades monetarias por toneladas de desechos, y a su vez determinar el total de los beneficios del proyecto, visualizando dos situaciones: la primera es que el sistema de gestión de los RSU está funcionando y es viable financieramente, esto está definido por el beneficio privado ($BP > 0$), situación que interesa generalmente a los técnicos municipales y a los administradores gubernamentales, y el segundo es que el sistema de gestión de RSM es económico, social y ambientalmente viable ($BT > 0$), lo que interesa los economistas y la sociedad principalmente, pero también a los administradores de los proyectos. Los resultados obtenidos se pueden observar en la Tabla 3 se destaca que un 36% de los cantones analizados cuentan con un MRSU financieramente viable y un 22% de ellos poseen una viabilidad económica, social y ambiental. Esto se debe principalmente a la carga presupuestaria bastante alta a la que se enfrentan las administraciones locales sin contar con muchos mecanismos de recuperación de estos costes.

2.2.4.1. ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD MEDIANTE VARIACIÓN ALEATORIA DE PARÁMETROS

Se realiza un análisis de sensibilidad para predecir los resultados ante variaciones de valores de las variables económicas utilizadas en el modelo de decisión. En un proyecto de residuos sólidos las variables que pueden variar a través del tiempo pueden ser la tasa de descuento, el coste de oportunidad, diversos costes en la compra o venta de materiales reciclados, el valor energético, etc.

Gráfico 4. Simulación Monte Carlo: coste de oportunidad vs beneficio total promedio en la zona 4 de Ecuador



Fuente: Elaboración propia.

En el caso puntual de esta investigación se ha realizado una simulación Monte Carlo realizando variaciones en el coste de oportunidad. *“La simulación Monte Carlo es una técnica empleada para estudiar cómo responde un modelo a entradas generadas de forma aleatoria”* (MathWorks, 2019).

Tabla 4. Análisis de Sensibilidad-Monte-Carlo con coste de oportunidad como variable de impacto en la Zona 4 (valores promedio).

Beneficio Privado	Beneficio Externo	Coste de Oportunidad	Bienestar Social Total
\$/ton	\$/ton	\$/ton	\$/ton
-122,59	-4,21	15,79	-147,98
-122,59	-4,21	17,02	-139,76
-122,59	-4,21	22,87	-144,83
-122,59	-4,21	16,78	-135,37
-122,59	-4,21	19,25	-144,21
-122,59	-4,21	26,16	-132,49
-122,59	-4,21	41,62	-149,03
-122,59	-4,21	22,76	-136,31
-122,59	-4,21	21,75	-152,55
-122,59	-4,21	24,09	-147,39
-122,59	-4,21	8,43	-147,26
-122,59	-4,21	4,71	-143,22
-122,59	-4,21	17,42	-152,86
-122,59	-4,21	20,16	-141,61
-122,59	-4,21	35,88	-129,63
-122,59	-4,21	22,06	-137,48
-122,59	-4,21	9,28	-131,06
-122,59	-4,21	24,16	-147,32
-122,59	-4,21	16,73	-136,99
-122,59	-4,21	6,77	-147,41
-122,59	-4,21	15,64	-134,86
-122,59	-4,21	21,00	-151,94
-122,59	-4,21	6,15	-149,86
-122,59	-4,21	28,22	-139,87
-122,59	-4,21	6,19	-144,88
-122,59	-4,21	12,91	-144,67
-122,59	-4,21	8,11	-138,13
-122,59	-4,21	9,78	-134,84
-122,59	-4,21	16,26	-154,63
-122,59	-4,21	27,05	-139,09

Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 5. Análisis de Sensibilidad-Monte-en cantones con viabilidad económica en el manejo de residuos en la zona 4 del Ecuador

Análisis Monte Carlo: Beneficio vs Coste de Oportunidad Cantón Santa Ana



Análisis Monte Carlo: Beneficio vs Coste de Oportunidad Cantón Manta



Análisis Monte Carlo: Beneficio vs Coste de Oportunidad Cantón El Carmen



Análisis Monte Carlo: Beneficio vs Coste de Oportunidad Cantón Montecristi



Análisis Monte Carlo: Beneficio vs Coste de Oportunidad Cantón Portoviejo



A manera general se observan valores negativos en todos los escenarios planteados por tanto el proyecto de MIRS en la zona 4 no genera confianza en su ejecución y sigue sin ser rentable en general. La

Tabla

4

y

Gráfico 5 se muestran el análisis de sensibilidad de los cantones con rentabilidad positiva para demostrar su variabilidad.

3. A MODO DE CONCLUSIONES

Respecto al análisis realizado de costes y beneficios y costes de oportunidad, se ha aplicado un método para conocer los beneficiados o perjudicados en la ejecución de los proyectos de manejo de residuos sólidos, dando como resultado que en lo que respecta al beneficio privado y el beneficio total de los cantones estudiados es bajo. Se ha mostrado como resultados que un 36% de los cantones estudiados cuentan con un manejo de residuos sólidos que resultan viable financieramente (beneficio privado) y un 22% de los cantones son económico social y ambientalmente viables. Considerándose al resto de cantones no viables, es decir que no producen beneficios ni privados ni para la sociedad. Con respecto al análisis de sensibilidad se observan valores negativos en los escenarios planteados, lo cual se considera como una señal de falta de rentabilidad y confianza en la ejecución del proyecto de manejo integral de residuos sólidos en la zona estudiada. Estos resultados demuestran que el sistema utilizado actualmente por los municipios de la zona 4 del Ecuador, están provocando costes económicos y ambientales a los gobiernos municipales y por tanto a la ciudadanía.

4. REFERENCIAS

- Asociación de Municipalidades Ecuatorianas (AME), 2019. Sistema Nacional de Información Municipal [WWW Document]. Gestión Integr. Residuos Sólidos.
- Banco Central del Ecuador (BCE), 2021. Tasas de Interés y Cotizaciones [WWW Document].
- Banco Mundial, 2018. Los desechos: un análisis actualizado del futuro de la gestión de los desechos sólidos [WWW Document].
- Correa, F., 2006. La tasa social de descuento y el medio ambiente. *Lect. Econ.* 64, 93–116. <https://doi.org/10.17533/udea.le.n64a2651>
- European Commission, 2014. Guide to Cost-benefit Analysis of Investment Projects: Economic appraisal tool for Cohesion Policy 2014-2020, Publications Office of the European Union. <https://doi.org/10.2776/97516>
- Gomez, R., Velásquez, W., Rodríguez, F., Yepes, C., Lopera, J., Martínez, O., Roldan, P., Vargas, G., Agudelo, N., 2013. Manual de gestión de proyectos, Segunda. ed. Antioquia.
- González, B., 2004. El coste de oportunidad como herramienta empresarial, Universidad de Oviedo.
- Institut für Energie- und Umweltforschung, GGmbH, H. (IFEU), 2010. Tool for Calculating Greenhouse Gases (GHG) in Solid Waste Management (SWM) [WWW Document].
- Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INEC), 2020. Indicadores Finales_GIRS_2019. Quito.
- Intituto de Ingenieria de la Universidad de Heidelberg, 2009. Herramienta De Cálculo De Gases De Efecto Invernadero (Gei) En El Manejo De Residuos Sólidos (Mrs). Frankfurt.
- Krugman, P., Olney, M., Wells, R., 2008. Fundamentos de Economía.
- Labandeira, X., León, C., Vázquez, M.X., 2007. Economía Ambiental, Pearson Educación. Madrid.

- MathWorks, 2019. Análisis de sensibilidad mediante variación aleatoria de parámetros [WWW Document]. Simulación Monte Carlo.
- Medina-Mijangos, R., De Andrés, A., Guerrero-García-Rojas, H., Seguí-Amórtegui, L., 2020. A methodology for the technical-economic analysis of municipal solid waste systems based on social cost-benefit analysis with a valuation of externalities. *Environ. Sci. Pollut. Res.* <https://doi.org/10.1007/s11356-020-09606-2>
- Michaelowa, A., Galante, A., Lo-Re, L., Villa, V., Illueca, C., Gómez, P., Reyes, E., Castillo, M., Janssen, J., Elmenhorst, A., Tipping, R., De-La-Torre, F., 2018. Concepto de implementación del mecanismo sectorial de mitigación en el sector de los residuos en Ecuador. Quito.
- Mokate, K.M., 1993. La evaluación económica de proyectos sociales. *Desarro. Soc.* 31, 9–25.
- Pinto Prades, J.L., Sánchez Martínez, F.I., 2003. Métodos para la evaluación económica de nuevas prestaciones, Centro de Investigación en Economía de la salud.
- Rojas, X., 2016. Evaluación ambiental y económica de la disposición final de residuos sólidos urbanos municipales de Moyobamba 2015. Universidad Nacional de San Martín-Tarapoto.
- Salmerón, Y., Cabrera, R., Juárez, A., Sampederro, M., Rosas, J., Rolón, J., 2017. Emisiones de Gases de Efecto Invernadero en Vertederos de Residuos Sólidos Urbanos. Parte B: Mitigación de Biogás en Acapulco, México. *Rev. Iberoam. Ciencias* 4, 12.
- Seguí Amórtegui, L., Alfranca Burriel, O., Moeller Chávez, G., 2014. Metodología para el análisis técnico-económico de los sistemas de regeneración y reutilización de las aguas residuales. *Tecnol. y ciencias del agua* 10, 01–24. <https://doi.org/10.24850/j-tyca-2019-06-01>
- Sotelo Navalpotro, J., Sotelo Pérez, M., García, F. (2011). Análisis Coste Beneficio y Coste Eficiencia de la Huella Hídrica en España. *Observatorio Medioambiental*, nº 14, 225–254.
- Sotelo Pérez, M., Sotelo Pérez, I. y Sotelo Navalpotro, J.A. (2019). Política económica y medioambiente: una aproximación. *Observatorio medioambiental*, nº 22, págs. 91-109
- Sotelo Pérez, I. y Sotelo Navalpotro, J.A. (2020). Aspectos generales de la Ordenación del Territorio y del Medio Ambiente. *M+A Revista electrónica del medioambiente*, vol. 21, nº1, pp. 102-121