

Valorización energética de residuos orgánicos: el vínculo entre la política energética y la gestión integral de residuos sólidos

Organic waste energy recovery: The link between energy policy and integrated solid waste management

Alejandra Valdivia-Espinoza^{1*} y Ximena Guardia-Muguruza¹

1 Universidad de Ingeniería y Tecnología. Lima, Perú.



Citar como: Valdivia-Espinoza, A. y Guardia-Muguruza, X. (2023). «Valorización energética de residuos orgánicos: el vínculo entre la política energética y la gestión integral de residuos sólidos». *South Sustainability*, 4(1), e074.
DOI: 10.21142/SS-0401-2023-e074

Artículo recibido: 17/2/2023
Revisado por pares
Artículo aceptado: 27/3/2023

El presente manuscrito fue seleccionado y presentado en el evento «Diálogos académicos: aportes de la ciencia a nuestro desafío climático, 4.ª ed.» (noviembre de 2022), organizado por el Ministerio del Ambiente (Minam) y el Grupo Impulsor de Acción Climática de la Academia.



© Las autoras, 2023. Publicado por la Universidad Científica del Sur (Lima, Perú)

*E-mail de correspondencia:
alejandra.valdivia@utec.edu.pe

RESUMEN

La gestión inadecuada de los residuos sólidos es un problema que disminuye la calidad de vida y contribuye al aumento de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI); su correcta gestión podría contribuir a la generación de energía con fuentes limpias, así como al cumplimiento de los compromisos climáticos asumidos por el Perú. En el presente documento se brindan recomendaciones para promover la valorización energética de los residuos sólidos en la política energética y la gestión de residuos, a partir del análisis de viabilidad de una planta de digestión anaeróbica en el distrito de Alto Selva Alegre, provincia de Arequipa, región Arequipa. Como principal recomendación se sostiene que es necesario fortalecer la capacidad técnica de los gobiernos locales en materia de valorización de residuos y establecer un plan nacional de transición energética que promueva el uso de biogás.

Palabras clave: biogás, residuos sólidos orgánicos, energía renovable, biomasa

ABSTRACT

The inadequate management of solid waste is a problem that negatively impacts quality of life and contributes to the increased emission of greenhouse gases (GHG). Adequate management has the potential to contribute to the generating of clean energy and the achieving of the climate commitments adopted by Peru. In this article, recommendations are presented for the promotion of the energy valorization of solid waste within Peru's energy policy and waste management, based on the feasibility analysis of an anaerobic digestion plant in the district of Alto Selva Alegre, in the province and region of Arequipa. The principal recommendation is that it is necessary to strengthen the technical capacity of local governments in terms of waste recovery, and to establish a national energy transition plan that promotes the use of biogas.

Keywords: biogas, organic solid waste, renewable energy, biomass



Introducción

La actual gestión de los residuos sólidos en el Perú es un problema que pone en riesgo la calidad ambiental y la salud de las personas. En 2021, el Perú generó 22 505 toneladas de residuos sólidos municipales al día (Minam, 2022). De estos, solo el 61,29 % fue dispuesto en rellenos sanitarios y lo restante fue depositado en lugares de acopio no autorizados (SINIA, 2022). Como consecuencia, en junio de 2022 se registraron alrededor de 1704 áreas degradadas por residuos sólidos, que ocupan 2337 hectáreas (ha) del territorio nacional (OEFA, 2022).

Una de las causas del problema de la disposición final de los residuos sólidos en el Perú es la insuficiente capacidad de las infraestructuras de disposición final. En 2021, la cantidad de residuos sólidos dispuestos en rellenos sanitarios a nivel nacional fue de 5 034 338 toneladas, el 61,29 % de la generación nacional (SINIA, 2022). Es decir, poco más de la mitad de lo que se genera al día es correctamente depositado. La figura 1 muestra la generación de residuos sólidos y generación per cápita (GPC).

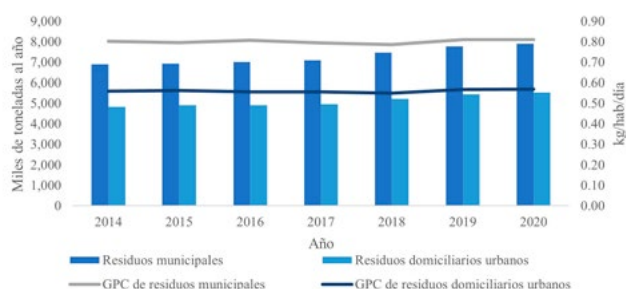


Figura 1. Generación de residuos sólidos y generación per cápita (2014-2020)

Nota. Tomado de Minam (2022)

En 2021, existían cuatro regiones del Perú que no contaban con una infraestructura adecuada para la disposición final de los residuos sólidos: Arequipa, Moquegua, Tacna y Madre de Dios (Minam, 2021). En conjunto, las cuatro regiones generaron el 6,46 % de la generación nacional de residuos sólidos municipales en 2021. Arequipa muestra la mayor generación de residuos, 355 362 toneladas, que corresponde al 4,33 % de la generación nacional (Minam, 2022). Esta situación contribuye tanto a la disminución de la calidad de vida de la población en Arequipa como al aumento de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) al ambiente.

Por un lado, entre los factores que disminuyen la calidad de vida de la población debido a la gestión inadecuada de los residuos sólidos, se encuentran la presencia de vectores y roedores, la filtración de lixiviados en el suelo y la contaminación de recursos naturales. A junio de 2022, la extensión total de áreas degradadas en Arequipa ascendió a 103,36 ha, las cuales corresponden a 89 áreas degradadas por residuos sólidos (OEFA, 2022).

Por otro lado, la disposición final de los residuos sólidos contribuye al incremento de GEI tanto en infraestructuras autorizadas como en espacios no autorizados. En 2014, las emisiones generadas por la descomposición de los residuos sólidos a nivel nacional ascendieron a 6439,12 GgCO_{2eq}, lo que representa 71 % del total de emisiones del sector desechos y el 3,8 % de las emisiones totales a 2014 (Minam, 2019).

El distrito de Alto Selva Alegre, provincia de Arequipa, departamento de Arequipa, como otros distritos del país, presenta una deficiencia en relación con el manejo de los residuos sólidos. En 2019, el distrito generó 48,48 ton/día de residuos sólidos municipales, de los cuales el 59 % corresponde a materia orgánica aprovechable (Municipalidad de Alto Selva Alegre, 2019). Sin embargo, a la fecha, el distrito realiza la disposición final de sus residuos en la infraestructura Quebrada Honda, que no tiene autorización de funcionamiento como relleno sanitario (Bejarano, 2016). Además, el distrito cuenta con una planta piloto de compostaje que aprovecha menos del 1 % de los residuos orgánicos (Municipalidad Provincial de Arequipa, 2017).

Una alternativa de solución para la falta de rellenos sanitarios es la construcción de plantas de valorización de residuos, dado que reducen la cantidad vertida en los botaderos o rellenos sanitarios, lo que incrementa su vida útil. Según la Ley N.º 1278, Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos, la promoción de la valorización de residuos constituye uno de los lineamientos de la gestión integral de los residuos sólidos con el objetivo de reaprovechar los residuos y sustituir a otros materiales o recursos en diferentes operaciones productivas (Congreso de la República, 2016). Desafortunadamente, en 2021 solo se valorizaron 148 497 t/año, lo que representa el 1,81 % del total generado a nivel nacional (Minam, 2022). Además, el 46 % de los residuos valorizados fueron residuos orgánicos.

Otra ventaja de la valorización es el aprovechamiento energético de la biomasa y su aporte en la reducción de emisiones GEI por el uso de energías renovables en reemplazo de combustibles fósiles. Por medio de la Ley de Promoción de la Inversión para la Generación de Electricidad con el uso de Energías Renovables, aprobada mediante el Decreto Legislativo N.º 1002, se convocaron las subastas de Recursos de Energía Renovable (RER), mecanismo por el cual se desarrollaron diversos proyectos de generación de energía a partir de energías renovables no convencionales (Congreso de la República, 2015). Sin embargo, en 2022, la participación de la energía solar, eólica, biomasa y biogás en la matriz energética solamente alcanzó el 5,54 %, con una producción de 3105,3 GWh, como se muestra en la figura 2.

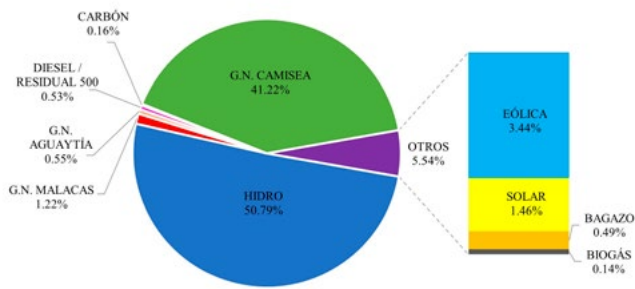


Figura 2. Producción de electricidad según recurso energético (2022)
Nota. Tomado de COES (2023)

Por lo tanto, el presente manuscrito busca discutir la viabilidad técnica, económica y ambiental de una planta de digestión anaeróbica a ubicarse en el distrito de Alto Selva Alegre, provincia de Arequipa, región Arequipa. Con ello se espera brindar recomendaciones para la promoción de tecnologías de aprovechamiento de residuos sólidos orgánicos para la conversión en energía, así como determinar las políticas públicas que serían necesarias para su desarrollo.

Enfoque y discusión

Actualmente, la Municipalidad de Alto Selva Alegre realiza la valorización de los residuos orgánicos para la producción de compost. Sin embargo, la capacidad de la planta de compostaje es insuficiente. En 2020, se valorizó 69,31 toneladas de residuos orgánicos, que representan menos del 1 % de la generación total. Por lo tanto, la propuesta busca utilizar todos los residuos orgánicos del distrito durante los 15 años de vida útil de la planta. Cabe resaltar que se considera que los residuos que no se pueden valorizar siguen el proceso de disposición actual en el botadero Quebrada Honda.

De acuerdo con la información del «Estudio de caracterización de residuos sólidos de Alto Selva Alegre» de 2019, se proyecta que este distrito generará 224 213 toneladas de residuos orgánicos de 2023 a 2037. Así, se determina que el potencial de energía del biogás con residuos sólidos es 125 585 MWh, con una generación de 22 949 633 Nm³ de biogás en 15 años. El cálculo se realizó tomando en cuenta las características del residuo y composición del biogás (Tobiasen *et al.*, 2014; Wellinger, 2013). El biogás puede ser utilizado como fuente de generación eléctrica o calor para usos industriales.

En la figura 3, se muestra el diseño conceptual de la planta con un biodigestor de 2088 m³, la cual funcionará a una temperatura de 39 °C y un tiempo de retención de 20 días. El control de la temperatura del biodigestor se obtiene por la reutilización del calor del cogenerador. Por lo tanto, el diseño puede ser replicado en otras regiones del Perú que cuenten con bajas temperaturas a lo largo del año.

La capacidad de procesamiento se calculó en 11 163 ton/año, con un potencial de generación de 1 339 307 Nm³ de biogás al año. Por otro lado, la generación de energía se calcula con base en una potencia instalada de 398 kW, con un factor de planta de 80 % y ratio de degradación de los equipos en 0,5 %. Se considera el uso de un motor a biogás de 500 kWe y un ciclo orgánico Rankine de 55 kWe como equipos principales.

En cumplimiento con la Ley de Gestión Integral de los Residuos Sólidos y su Reglamento, el proyecto se ubicó en las coordenadas 16°21'18,1"S, 71°29'49,7"O, con un área de 6600 m² y la conexión al sistema eléctrico mediante la subestación Chilina 33 kV. Dado que parte del distrito de Alto Selva Alegre pertenece al Área Natural Protegida (ANP) Reserva Nacional de Salinas y Aguada Blanca, se verificó que la ubicación de la planta no se encuentre dentro del ANP o su zona de amortiguamiento.

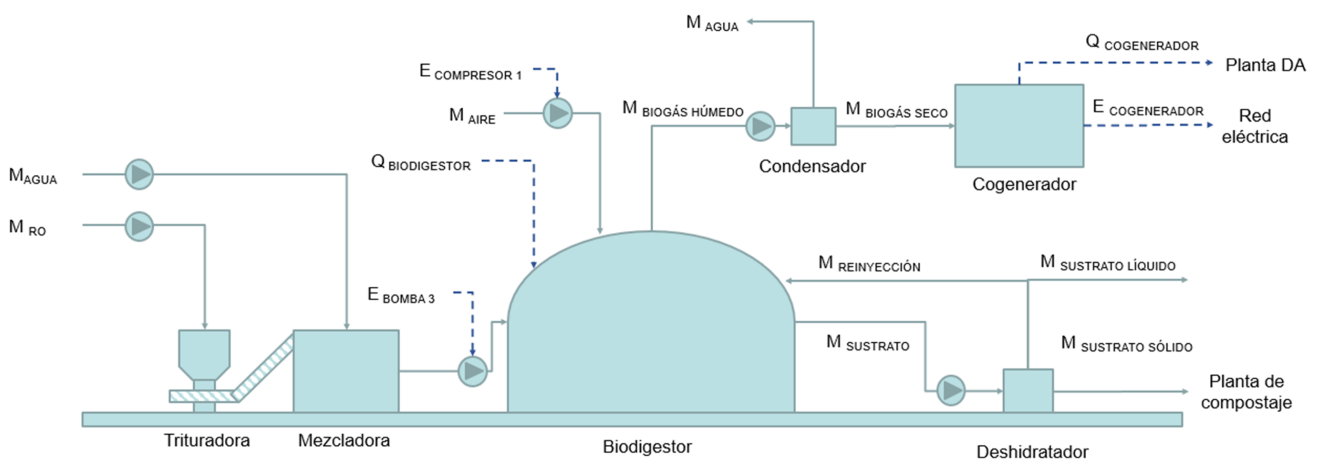


Figura 3. Diseño conceptual de la planta



Para evaluar el aporte del proyecto a la reducción de emisiones de GEI, se utilizó la metodología ACM0022: Alternative waste treatment processes, Version 3.0, aprobada por el Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL, 2021). Esta metodología permite cuantificar la reducción de emisiones por dos fuentes: el reemplazo de la disposición de residuos orgánicos en tierra por el aprovechamiento de estos mediante la digestión anaeróbica y el reemplazo energía a partir de los combustibles fósiles por energía renovable.

Durante los 15 años de operación del proyecto, se estima la reducción de 96 383 tCO_{2eq} por concepto de reducción de la cantidad de residuos dispuestos en tierra y generación de energía renovable. La reducción de emisiones se calculó en base a un factor de planta de 80 % y una degradación de los equipos 0,5 % anual. Así, el proyecto contribuye a la reducción de emisiones de GEI y califica a vender unidades de carbono verificadas (VCU, por sus siglas en inglés) dentro de mercados de carbono voluntarios, o puede ser incluido como parte de las contribuciones nacionalmente determinadas si forma parte de alguna de las medidas de mitigación establecidas a nivel nacional.

El costo de inversión del proyecto (CAPEX) asciende a 2 055 154 USD, incluyendo los costos de la línea de transmisión para la conexión a la subestación Chilina. Para el costo de mantenimiento (OPEX), se consideró un costo fijo del 2 % de la inversión inicial y un costo variable no combustible de 9,3 USD/MWh (Comisión de Energía Nacional de Chile, 2020).

Como medida de comparación con otras tecnologías y evaluación de viabilidad económica, se evaluó el costo nivel de energía (LCOE) de la planta. Considerando una tasa de descuento del 7 %, el LCOE resulta 104,63 USD/MWh. Debido a que el precio de energía en el mercado libre y mercado de corto plazo es menor al LCOE, se considera que la única opción de venta de energía para las condiciones mostradas del proyecto es a través de una nueva subasta RER.

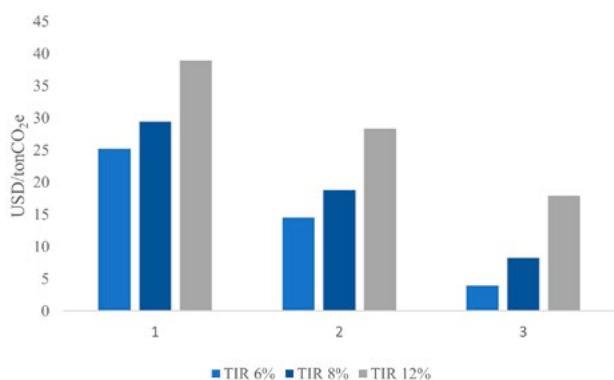


Figura 4. Análisis de sensibilidad con precio de carbono

Sin embargo, la propuesta tiene la posibilidad de ingresos del cobro por el servicio de tratamiento de residuos. Se definió la tarifa por tratamiento de residuos en 3,45 USD/ton de acuerdo con la tasa actual de disposición final en el botadero controlado Quebrada Honda. De esta manera, el LCOE resulta en 89,65 USD/MWh.

Además de no formar parte de una subasta RER, la propuesta puede calificar para vender VCU, pues no formaría parte de la medida de mitigación «Combinación de energía renovables». En este caso, se contempla la venta al mercado libre o mercado de corto plazo. Para esto, se consideró el precio social de carbono en el Perú de 7,17 USD/tCO_{2eq} (MEF, 2021). Con base en los parámetros, el nuevo LCOE resulta en 72,62 USD/MWh para el mercado libre y mercado de corto plazo. Por lo tanto, ambos ingresos adicionales permiten una reducción del precio de venta de energía en un 30 % menor que el LCOE inicial.

Con la finalidad de evaluar la viabilidad de la planta de digestión anaeróbica en el mercado de corto plazo, se determinó el precio del carbono deseado para obtener un LCOE igual al costo marginal en el SEIN (COES, 2018). En la figura 4, se muestra que el precio del carbono necesario varía entre 6-42 USD/tCO_{2eq}. Debe destacarse que el precio necesario en 2020 para cumplir con el incremento de 2 °C de temperatura según el Acuerdo de París fue entre 40-80 USD/tCO_{2eq} (World Bank, 2021). Además, el Perú está preparando la regulación nacional para participar en los mercados de carbono del Acuerdo de París (Minam, 2020). Por lo tanto, en un escenario del aumento del precio del carbono hasta 40 USD/tCO_{2eq}, el proyecto resulta viable para el mercado de corto plazo en el periodo 2023-2028.

De la misma manera, se determinó la tarifa de tratamiento de residuos sólidos deseado para obtener un LCOE igual al costo marginal en el SEIN (COES, 2018). En la figura 5, se muestra que la tarifa necesaria varía entre 2-21 USD/ton de residuo sólido. Cabe resaltar que, ante la implementación de un relleno sanitario en Arequipa, la tarifa de disposición de residuos incrementará.

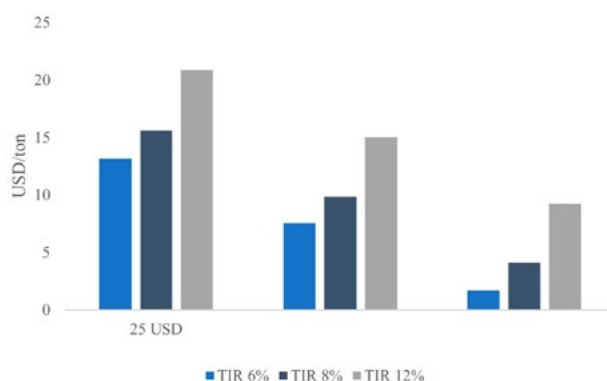


Figura 5. Análisis de sensibilidad con tarifa de tratamiento de residuos

Por ejemplo, la tarifa actual del relleno sanitario del distrito de Andahuaylas se encuentra en 6,75 USD/ton e incrementará a 15 USD/ton en 2022. Por lo tanto, en un escenario del aumento de la tarifa hasta 15 USD/ton, el proyecto resulta viable en el mercado de corto plazo. Sin embargo, se requiere una tarifa de 20,87 USD/ton para obtener una TIR de 12 % en 2023 con un precio de venta de 25 USD/MWh.

Sobre la base de los hallazgos del análisis técnico, ambiental y económico, se concluye que el proyecto es viable bajo ciertas condiciones. En primer lugar, si el proyecto ingresa por medio de subasta RER, se considera el ingreso por la tarifa de servicio y el precio de venta de energía resulta en 89,65 USD/MWh. Asimismo, si ingresa por venta al mercado de corto plazo o usuarios libres, se puede adicionar la venta de VCU y el precio se puede reducir a 72,62 USD/MWh. Por otro lado, para ingresar a despachar en el mercado de corto plazo a un TIR de 8 %, se requiere que el costo marginal no disminuya de 25 USD/MWh y que incremente el precio del carbono a 29,4 USD/tCO₂e o la tarifa por tratamiento de residuos a 15,6 USD/ton.

De esta manera, la presente investigación muestra la importancia de los mercados de carbono en la implementación de proyectos de mitigación del cambio climático como el propuesto. Además, la necesidad de políticas públicas que promuevan un mercado favorable para el desarrollo de proyectos de generación de energía a partir de fuentes renovables como la biomasa. La integración de ambos factores determinará la viabilidad de esta tecnología.

Conclusiones y recomendaciones

Uno de los hallazgos más preocupantes de la investigación es la inexistencia de infraestructuras de disposición final en cuatro departamentos del Perú. Frente a esta situación, se recomienda que el Ministerio del Ambiente (Minam) priorice la valorización de residuos en dichos departamentos y fortalezca la capacidad técnica en gestión integral de residuos sólidos a sus autoridades locales. De esta manera, se propone reforzar la asistencia técnica del Minam a los gobiernos locales para la evaluación de proyectos de valorización de residuos.

Para esto, se requiere el apoyo de las municipalidades distritales en establecer un programa de segregación en la fuente a nivel distrital. Actualmente, las municipalidades reciben el incentivo de la Meta 3 del Ministerio de Economía y Finanzas (MEF), que otorga una bonificación a las municipalidades que implementan y cumplen con el mínimo de residuos sólidos valorizados. Sin embargo, las metas deben ser más ambiciosas e incentivar el uso de nuevas tecnologías. Esto lograría una mayor cobertura del servicio de segregación en la fuente y cantidad de residuos valorizados.

Además, la Municipalidad de Alto Selva Alegre debe planificar la valorización de residuos sólidos tomando en cuenta a todos los actores; entre ellos, a la población. Al ser la encargada de realizar la segregación en la fuente, la población requiere ser sensibilizada y capacitada en dicha actividad. En este sentido, se recomienda que la municipalidad incluya una campaña de sensibilización, así como incentivos para asegurar la participación de la población y un seguimiento adecuado de los resultados de la campaña, como parte del plan de manejo de residuos sólidos. Esto garantizará que se obtenga un residuo debidamente segregado y listo para su valorización.

Otro actor involucrado es la empresa operadora de residuos sólidos (EO-RS), que se encarga de la recolección selectiva o la transformación del residuo. Para el caso del proyecto de generación de energía, la empresa generadora debe establecer con el gobierno local el alcance de su servicio. Además, para promover la inversión privada en este tipo de proyectos, se recomienda contar con un plan de segregación en la fuente validado y que garantice a la empresa privada la cantidad de residuos disponible para su valorización.

Por otro lado, un segundo hallazgo preocupante es la falta de mecanismos vigentes que promuevan la participación de energías renovables en la matriz energética. Frente a esta situación, se propone un plan nacional de transición energética, el cual defina las metas de participación de energías renovables y su plan de acción para lograrlo. Para esto, el Ministerio de Energía y Minas (Minem) tiene que establecer su visión a largo plazo como parte de la actualización de su Política Energética Nacional, que debe estar alineada a los compromisos climáticos asumidos al suscribir el Acuerdo de París.

Asimismo, tomando en cuenta los resultados del análisis del LCOE del proyecto, se propone evaluar una nueva subasta RER que incluya la tecnología de biogás a partir de residuos sólidos. Con esto, se incentivará la inversión privada en plantas de digestión anaeróbica y el desarrollo de la valorización en el Perú. De la misma manera, se propone que se evalúe una nueva subasta RER por tipo de tecnología, diferenciando la competitividad y maduración de cada una.

También se propone la creación de un mercado de certificados de energía renovable, que acreditan la generación de energía a partir de fuentes renovables. Esta medida propone que el Minem establezca una cantidad de certificados de energía que deben ser adquiridos por los consumidores seleccionados. De esta manera, la medida aportaría a lograr las metas nacionales y de los consumidores individuales.

Finalmente, la importancia de tomar acción frente a la deficiente gestión de los residuos sólidos y la insuficiente participación de energías renovables en la matriz energética radica en la urgencia climática por reducir las emisiones de GEI. En este sentido, la investigación presenta



distintas alternativas de acción en el ámbito de políticas públicas para facilitar proyectos de mitigación frente al cambio climático. A través de las recomendaciones

planteadas, se busca incidir en la política energética y el plan de gestión de residuos sólidos para brindar un futuro más sostenible al Perú y sus futuras generaciones.

Referencias bibliográficas

- Bejarano, M. E. (2018).** *Investigación experimental del equilibrio gaseoso e hídrico del botadero de Quebrada Honda - Yura - Arequipa 2016*. Tesis doctoral. Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa
- Clean Development Mechanism. (2021).** Alternative waste treatment processes --- Version 3.0. <https://cdm.unfccc.int/methodologies/DB/AUR5PLW743TS00OCWRS55XXT86WV4J>
- Comisión Nacional de Energía de Chile. (2020).** Informe de costos de tecnologías de generación en Chile. <https://www.cne.cl/wp-content/uploads/2020/03/ICTG-Marzo-2020.pdf%0Ahttp://marefateadyan.nashriyat.ir/node/150>
- Comité de Operación Económica del Sistema Interconectado Nacional, COES. (2022).** Estadística anual. <https://www.coes.org.pe/Portal/publicaciones/estadisticas/estadistica?anio=2021#>
- Comité de Operación Económica del Sistema Interconectado Nacional, COES. (2018).** Evaluación de la necesidad de generación eficiente en el SEIN y prospectiva del suministro eléctrico del sur en el corto, mediano y largo plazo.
- Congreso de la República del Perú. (2015).** Decreto Legislativo de Promoción de la Inversión para la Generación de Electricidad con el Uso de Energías Renovables. https://www.minem.gob.pe/archivos/legislacion-9ozj22z9ap5zz33z-DL_de_promocion_de_la_inversion_para_la_generacion_de_electricidad_con_el_uso_de_energias_renovables_1002.pdf
- Congreso de la República del Perú. (2016).** Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos. <https://sinia.minam.gob.pe/normas/ley-gestion-integral-residuos-solidos>
- Linnenberg, C., Melebrán, C., Jofré, I. y Schleenstein, G. (2019).** *Estudio de factibilidad de un biodigestor anaeróbico en una planta faenadora de carne*. <http://energiaabierta.cl/estudios/estudio-de-factibilidad-de-un-biodigestor-anaerobico-en-una-planta-faenadora-de-carne/>
- Ministerio de Economía y Finanzas del Perú, MEF. (2021).** Nota técnica para el uso del precio social del carbono para la evaluación social de proyectos en el Perú. https://www.mef.gob.pe/contenidos/inv_publica/anexos/anexo3_RD006_2021EF6301.pdf
- Ministerio del Ambiente, Minam. (2019).** Inventario nacional de gases de efecto invernadero 2014. <http://infocarbono.minam.gob.pe/annios-inventarios-nacionales-gei/ingei-2014/>
- Ministerio del Ambiente, Minam. (2020).** El precio al carbono como instrumento de descarbonización en el contexto nacional. https://www.congreso.gob.pe/Docs/comisiones2020/CE_Cambio_Climatico_-2020-2021/files/foros_documentos/20_10_06_precio_al_carbono_minam.pdf
- Ministerio del Ambiente, Minam. (2021).** Listado de rellenos sanitarios. https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/2002071/Listado_de_Rellenos_sanitarios_y_de_seguridad_02.08_RPublico.pdf
- Ministerio del Ambiente, Minam. (2022).** Coordinación de información sobre gestión de residuos sólidos. <https://sites.google.com/minam.gob.pe/dggrs/coordinaciones/seguimiento-e-informacion-sobre-gestion-de-rsss>
- Municipalidad Distrital de Alto Selva Alegre. (2019).** Estudio de caracterización de residuos sólidos en el distrito de Alto Selva Alegre.
- Municipalidad Provincial de Arequipa. (2017).** *Plan integral de gestión ambiental de residuos sólidos (PIGARS) de la provincia de Arequipa*. https://www.muniarequipa.gob.pe/descargas/gestionmanejoresiduos/PIGARS_2017-2028/PIGARS_final_22_de_Diciembre.pdf
- Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental, OEFA. (2022).** Resolución N.º 00018-2022-OEFA/DSIS Inventario Nacional de Áreas Degradadas por Residuos Sólidos. <https://www.gob.pe/institucion/oefa/normas-legales/3156088-00018-2022-oefa-dsis>
- Sistema Nacional de Información Ambiental, SINIA. (2022).** Estadística ambiental. <https://sinia.minam.gob.pe/informacion/estadisticas>
- Tobiasen, L., Kahle, K., Hindsgaul, C. y Kamuk, B. (2014).** Waste to energy – Energy recovery of green bin waste: Incineration/Biogas comparison. *Current Sustainable/Renewable Energy Reports*, 1(4), pp. 136-149. <https://doi.org/10.1007/s40518-014-0018-1>
- Wellinger, A., Murphy, J. y Baxter, D. (2013).** *The biogas handbook*. (1.ª ed.). Cambridge: Woodhead Publishing Limited.
- World Bank. (2021).** *State and trends of carbon pricing 2021*. Washington, D. C.: World Bank.