

# RENOVACIÓN PAISAJÍSTICA Y LÚMINICA DE TRUJILLO A PARTIR DE LA VALORIZACIÓN ENERGÉTICA DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS

**Dra. Arq. María Lucía D. Boggiano Burga**  
Universidad Privada Antenor Orrego  
Universidad Nacional de Trujillo

## Resumen/Abstract

La generación de los residuos sólidos ha evolucionado paralelamente a la urbanización, crecimiento económico e industrialización, perjudicando al medio ambiente por la deficiente disposición final. En Perú, la producción de residuos es 23,000t/día, contando con 34 rellenos sanitarios y 20 vertederos a cielo abierto. Sin embargo, los rellenos sanitarios ya no son una solución, puesto que carecen de tecnología. Trujillo, es una ciudad colonial ubicada a 558km de la capital limeña y cuenta con 970,016 habitantes que generan 545 t/día de residuos. Dicha basura es trasladada sin control al botadero “El milagro”, el cual ya cumplió su vida útil, convirtiéndose en foco infeccioso para toda la ciudad, especialmente para aquellos que viven en torno a él.

Como parte de una propuesta integral, se presenta la opción de generar energía eléctrica a partir de los residuos sólidos urbanos mediante tecnología de vanguardia, aplicada al mejoramiento lumínico y paisajístico de la ciudad.

Para esto, se propone el Corredor Ecológico “*Indoamericano*” que, además de conectar los distritos La Esperanza y El Porvenir, incluirá equipamientos y espacios de interrelación sociocultural, aplicando estrategias de renovación urbana y proyectuales basadas en los principios básicos del diseño de espacios públicos: confort lumínico, térmico y psicológico; adaptándolos a su vez, a las

innovaciones tecnológicas dadas por la globalización y la sostenibilidad.

De este modo se repotenciará los atractivos de la ciudad colonial fomentando el desarrollo de un nuevo modelo económico sostenible cuyo fin es reinventar e integrar a Trujillo a la red de ciudades cosmopolitas e inteligentes.

*El uso apropiado de la ciencia no es conquistar la naturaleza, sino vivir en ella.*  
—Barry Commoner

## Introducción

La Problemática de los residuos sólidos urbanos se ha convertido en el tema central de las agendas regionales y nacionales de América Latina, siendo el principal motivo de generación de planes y proyectos para el mejoramiento de la calidad ambiental, sin embargo, continúan siendo insuficientes a pesar de las mejoras alcanzadas en los últimos años.

La generación de los residuos sólidos ha evolucionado paralelamente a la urbanización, crecimiento económico e industrialización, a la vez ha perjudicado críticamente al medio ambiente, exponiendo la salud de aproximadamente 170 millones de personas; además, en los próximos 30 años, se espera que la cantidad aumente 70%, llegando a un volumen de 3400 millones de toneladas anuales<sup>1</sup>. La mala gestión en la segregación y disposición final de los mismos es el problema más crítico ya que aproximadamente una tercera parte acaban en basurales a cielo abierto que no garantizan una adecuada protección ambiental.



Imagen 1. Problemática de residuos sólidos en Trujillo: Desechos botados en las avenidas, bermas y alrededores de mercados. Fuente propia.

En Perú, el volumen de la basura producido alcanza las 23,000 t/día<sup>2</sup> y lamentablemente el 50% de estos residuos no se disponen adecuadamente; por ello tenemos avenidas, parques, playas y quebradas sucias que acarrear muchos problemas de contaminación y salud por la clamorosa falta de rellenos sanitarios. A nivel nacional solo se tiene 34 rellenos sanitarios y 20 vertederos a cielo abierto (botaderos). No obstante, dichos métodos ya no son una opción frente a esta problemática, se encuentran actualmente en desuso por enterrar grandes masas de basura sin aprovechar su potencial energético o recuperar materiales reciclables.

La provincia de Trujillo está ubicada a 558Km. de la capital limeña y cuenta con 970,016 habitantes<sup>3</sup>. Del monto total de residuos generados, en lo que va del año, 216,000 toneladas fueron enviadas al “*Botadero El Milagro*”, un vertedero controlado por la Municipalidad Provincial de Trujillo, el cual ya cumplió su vida útil y se ha convertido en foco infeccioso crítico para toda la ciudad, especialmente para aquellos que viven en torno a él.

De los desperdicios que se vierten, alrededor del 70% es materia orgánica, sin embargo, no es ajeno al arrojado de desperdicios hospitalarios y de construcción. Los recicladores informales separan la basura sin equipos de protección, incluso acompañados por niños, y alrededor del cerco perimétrico se han establecido

chancherías informales donde alimentan a los cerdos.

Por ende, el vertido incontrolado de RSU es altamente nocivo, ha degradado el paisaje urbano convirtiéndolo en un lugar sucio y desagradable. Además, los lixiviados, producidos por descomposición de materia orgánica y cenizas producidas por la quema a cielo abierto, emanan sustancias tóxicas que pueden afectar aguas superficiales y que al filtrarse por las capas de la tierra alcanzan aguas subterráneas contaminándolas. Asimismo, deteriora la calidad del aire, el humo reduce la visibilidad y el viento transporta a otros lugares microorganismos nocivos que producen infecciones respiratorias e irritaciones nasales y ópticas. Según Eduardo Pisfil, director del Instituto Peruano de Reciclaje, dicho botadero es considerado el más crítico del Perú y uno de los que muestran la peor situación en toda Latinoamérica.

Del mismo modo y a vista de las autoridades municipales, se han habilitado zonas ilegales de acopio de residuos a lo largo de las principales avenidas de Trujillo, cerca de colegios, universidades y parques infantiles, lo que ha ocasionado pérdida en las condiciones de habitabilidad de los espacios públicos, desmejoramiento de la imagen urbana, así como proliferación de bacterias y enfermedades. Aun así, son refugios de los recicladores informales que recorren la zona durante la madrugada.

Frente a esto, el 19 de Julio, mediante Resolución Ministerial N°221-2019-MINAM, se declaró en emergencia a la Provincia, lo que obligó a la Municipalidad a cumplir con el Estudio de Caracterización de Residuos Sólidos y la identificación del lugar para la implementación de una celda transitoria previa a la formulación del proyecto de inversión pública para la construcción de un relleno sanitario. Sin embargo, como ya se mencionó, su instalación es obsoleta; una práctica que en Europa fue abandonada progresivamente desde el año 2014<sup>4</sup>.

Vale mencionar también que, desde hace dos años, Trujillo cuenta con un relleno sanitario privado de la empresa INNOVA AMBIENTAL en el distrito de Chicama, que a la vez cuenta con celdas de seguridad y que permitiría un mejor tratamiento de los RSU, pero tiene un costo aproximado 180 dólares por tonelada de residuo; lo que ha creado desinterés por parte de la Municipalidad, agravado por la morosidad de los contribuyentes en el pago de arbitrios municipales.

Como se observa, tal es el desconocimiento o desidia de las entidades públicas sobre una adecuada disposición de RSU -y las graves consecuencias que éstos producen-, que no podemos avanzar ni mejorar nuestra calidad de vida.

Por consiguiente, en esta investigación se plantea la valorización de los residuos sólidos urbanos para la obtención de energía eléctrica mediante la co-incineración y el biogás, tecnologías que vienen cobrando fuerza en el resto de países del mundo<sup>5</sup>, donde los estándares internacionales de calidad y salud ambiental son altísimos y que, actualmente van de la mano con la arquitectura y el urbanismo, ya sea por la aplicación de dicha energía en la iluminación de espacios públicos, la recuperación del paisaje de áreas degradadas por los RSU, y/o el diseño y construcción de viviendas sustentables en ámbitos vulnerables.

Esta novedosa tecnología denominada también “waste to energy” (WTE), o “termovalorización de residuos”, se viene adoptando en la gestión de alrededor del 20% de los residuos sólidos municipales mundiales<sup>6</sup>, convirtiéndose también en una opción para aquellos residuos que no pueden ser recuperados o reciclados. Con

la avanzada tecnología, la emisión de los gases de combustión a la atmósfera es *cuasi-nula*<sup>7</sup>. Para Cid<sup>8</sup>, el incremento de estas tecnologías se debe a la escasez de espacio para poder construir nuevos vertederos en las grandes ciudades bajo una normativa ambiental cada vez más exigente. Como arquitectos, la problemática de los RSU nos lleva a enfrentar nuevos retos ambientales.

## **Posibilidades de obtención de energía a partir de residuos**

### *Una mirada al futuro*

Trujillo se abastece por medio de energía generada de la central hidroeléctrica “Gallito Ciego”. A pesar de ser una tecnología limpia que no contamina el ambiente, la construcción de las centrales hidroeléctricas implica inundar algún área de terreno donde se almacenará el agua, lo cual podría ocasionar la destrucción de ecosistemas de la zona, o la alteración de los mismos.

Además, según el escenario al 2030 que plantea el *Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático*, las centrales hidroeléctricas sufrirán alteraciones debido a las sequías recurrentes y los cambios en las corrientes y flujos de agua, perjudicando la producción hidroeléctrica.

Por ello, es necesario buscar ya otras fuentes de energía. Para tal efecto, se propone aprovechar el potencial energético de los residuos para generar electricidad, dirigiendo sus posibles usos al mejoramiento del confort lumínico y paisajístico de Trujillo, adaptando -a su vez- el diseño de los espacios públicos a las innovaciones tecnológicas dadas por la globalización y la sostenibilidad, como la electromovilidad que abandona el uso excesivo de hidrocarburos, permitiéndonos hacer frente al cambio climático.

### *Metodología*

Durante varios meses, se realizaron dos diagnósticos en paralelo: de residuos sólidos y de espacios públicos para determinar la zona crítica a intervenir.

Para el proceso de valorización energética de los residuos sólidos, se contó con el estudio de caracterización realizado por SEGAT en julio

del año 2019; el cual precisa que el 70.6% de los residuos sólidos son potencialmente materia orgánica, el 6% son residuos no aprovechables, papel 4%, Cartón 6.5%, Vidrio 3%, Plástico 8.9%, y metales 1%. Además, se tomaron en cuenta las características químicas y biológicas de los mismos para determinar la técnica idónea de generación de energía eléctrica, lo que a su vez permitió determinar la viabilidad técnica y económica.

1. Se halló el Poder calorífico inferior (**PCI**) de los residuos sólidos orgánicos, el cual oscila entre 1.700 y 2.800 kcal/kg, tomando la media, equivale a 9.655 Mj/kg.
2. En cuanto la generación de **biogás**, la cantidad de basura orgánica generada en la provincia de Trujillo es 396.92 t/ día lo que permitiría obtener un promedio 21,830.6 m<sup>3</sup> /día de biogás. Si se concentraran los residuos orgánicos en biodigestores, se podría captar el metano en condiciones controladas, ofreciendo ventajas técnicas y económicas superiores a un relleno sanitario por ser un espacio confinado y no diseminado. El poder calorífico del biogás es 4.700 a 5.500 kcal/m<sup>3</sup>, similar al gas natural, siendo el primero menos contaminante.
3. En términos eléctricos, la conversión de energía térmica en energía eléctrica tiene 35% de eficiencia, siendo posible obtener entre **120 y 290 KWh** por tonelada de residuo (EPE).  
Al tener una generación de más 396.92 t/día, y un PCI mayor a 2000 kcal/kg, es también viable la tecnología de horno de parrilla ya que permite tratar los residuos con PCI entre **1,400 y 4,500 kcal/kg** sin añadir combustible auxiliar.

Si se emplea el proceso de “co-generación” – donde la recuperación de energía se realiza en forma de calor y éste puede utilizarse de forma directa o convertida en energía eléctrica-, los valores usuales del rendimiento eléctrico en parrilla o lecho fluidizado fluctuarían entre 45-55%.

Por tanto, residuos con PCI de 2.600 kcal/kg puede generar entre **600 y 900 KWh** por tonelada co-incinerada, integrándose al

Sistema Eléctrico Interconectado Nacional (SEIN) o concesionario.

Otras tecnologías como *gasificación o pirolisis* también son factibles a implementar en nuestra ciudad, siendo las más comunes las citadas, cuyo uso no debe verse como la solución, sino como un elemento base dentro de un sistema integrado de gestión de residuos que involucre múltiples escalas: desde la gestión municipal, los productores hasta los consumidores finales.

A falta de políticas energéticas, podría recurrirse al apoyo de ONG(s) o empresas privadas que avalen la proactividad ambiental y que nos permitan enfrentar dicho desafío. Con este nuevo modelo económico sostenible (Pacto de la Economía Circular), se quiere integrar a Trujillo a la red de ciudades modernas.

### **Propuesta de intervención paisajística y confort lumínico**

Trujillo, como toda ciudad colonial, cuenta con su emblemático y tradicional centro histórico, cuya muralla recorría lo que actualmente es la Av. España. De dicha vía, nacen otras que lo interconectan con los demás distritos y que lamentablemente, se han convertido en zonas críticas de contaminación ambiental por la concentración permanente de residuos sólidos. El espacio degradado es preocupante y amenaza con seguir afectando la habitabilidad y calidad de vida de los moradores, así como el desarrollo económico y turístico de la solariega ciudad.

El área de intervención se encuentra entre el límite de los distritos **El Porvenir y La Esperanza** (imagen 2), cerca al cerro Cabras. El diagnóstico arrojó los siguientes problemas: ocupación informal del suelo, deficiente gestión de RSU, inexistente infraestructura vial, déficit de áreas verdes y equipamientos de ocio y salud, y un 78% viviendas que no cuenta con los servicios de abastecimiento de agua y alcantarillado.

En cuanto el sistema eléctrico, la escasa iluminación nocturna ha generado sensación de inseguridad. En viviendas de bajos recursos instalan el servicio mediante comités vecinales organizados y a través de un solo medidor general, se abastecen de 10 a 15 viviendas.

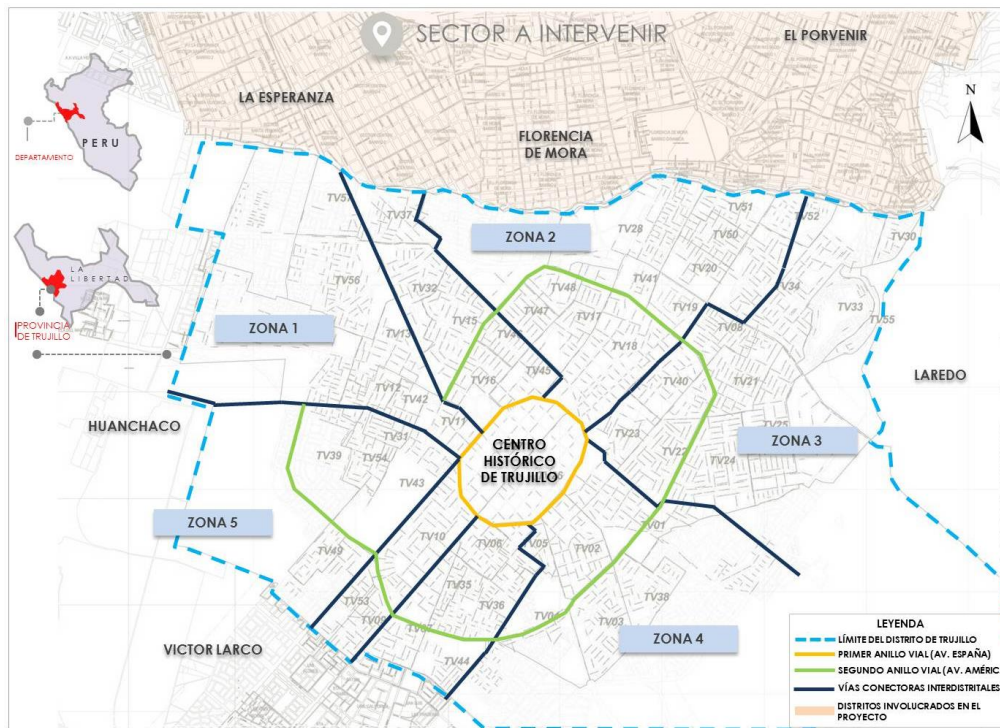


Imagen 2. Plano de Trujillo y sus distritos, especificando el sector de estudio e intervención. Elaboración propia.

La inadecuada iluminación nocturna de las áreas verdes y espacios públicos es un problema recurrente en toda la ciudad. Solo un 5% del sector socioeconómico “A” cuenta con alumbrado LED y un diseño regular; el resto son áreas sin vida, con nula interacción social-ambiental, convertidos en grandes moles de cemento.

Por tanto, esta propuesta responde a una radical reestructuración ambiental y renovación de espacios públicos, los cuales contribuyen a la conectividad ecológica-cultural de las zonas más vulnerables de la ciudad, dotándolas de infraestructura moderna, sostenible, con un **modelo energético basado en la eficiencia**, capaz de afrontar los efectos venideros del cambio climático.

Bajo este principio, se presentan distintas soluciones para planificar, diseñar y construir un entorno urbanístico más sustentable. Uno de ellos el **“Corredor Ecológico Indoamericano”** que servirá de vía integradora del paisaje urbano con propuestas de equipamientos socioculturales a lo largo de la cinta (Imagen 3).

Para el diseño de espacios públicos y alamedas se tuvo en consideración tres puntos claves: condiciones térmicas, percepción de seguridad y

confort lumínico. Todas, tratadas bajo el mismo concepto de sostenibilidad, fomentando una colaboración intensa y multidisciplinar unificando diseño, arte, ciencia y ecología.

El **corredor ecológico** tiene un largo de 7,5km y constará de una alameda central de 20m de ancho, paralela a una ciclovía bidireccional. Ambas se integrarán a la red vial existente, cuyo diseño podría adaptarse a diferentes secciones viales y sectores urbanos de la ciudad.

En cuanto la **energía eléctrica obtenida**, se propone su implementación en lo siguiente (Imagen 4-5):

**Red de alumbrado público con tecnología LED** por su gran eficacia luminosa. Consumirá menos electricidad (100W) lo que significará menor costo económico para la ciudad. Los postes ubicados en intersecciones contarán con sensores que detectan la aproximación de ciclistas o peatones, cambiando automáticamente a luz roja. Uso de **reflectores LED** multicolores especiales para iluminación nocturna de



Imagen 3. Proyectos propuestos para la zona a intervenir. Fuente propia.

espacios verdes y fuentes de agua (con recinto impermeable); lo que permitirá combinar colores, brindando dinamismo y variedad.

**Implementación de Electrolineras** (puntos de estación de carga rápida y semi-rápida) de 300 KW/día, que abastecerán de energía a los vehículos, scooter y motos eléctricas por ser eficientes, ecológicos y silenciosos. A lo largo del proyecto se proponen 12 puntos de recarga rápida (15 min) y 16 semi-rápida (30min), si cada estación consume 300 KW/día, entonces, tendríamos un total de **5,520 KWh/día**, lo que podría abastecer a 690 vehículos diarios.

Tanto los parquímetros para bicicletas como las estaciones de autobús contarán con **techos verdes** y conexión para recarga de aparatos eléctricos y electrónicos de 220V. Además, se propone la **arborización** en todo el recorrido con **plantas endémicas** (jacarandá, tipuana, algarrobo y flor de overo), nombres de las estaciones propuestas.

### Otras consideraciones:

**Optimización y tratamiento de aguas residuales** (proveniente de baños públicos) y de fuentes de agua mediante **biofiltros**. Así se promueve la recirculación del agua para el riego de las áreas verdes.

Se propone también la utilización de excrementos/desechos de mascotas para generar **biogás**, mediante un digester modular, cuyo subproducto resultante puede ser utilizado como fertilizante. Se calcula que para generar dos horas de luz hay que introducir diez bolsas de excrementos. Con esto, se podría aportar energía a las luminarias LED o para la recarga de aparatos electrónicos en espacios públicos.

Como parte final de este **sistema sostenible**, se propone la instalación de contenedores de basura para el reciclaje y correcta segregación de los residuos clave para el éxito del proyecto.

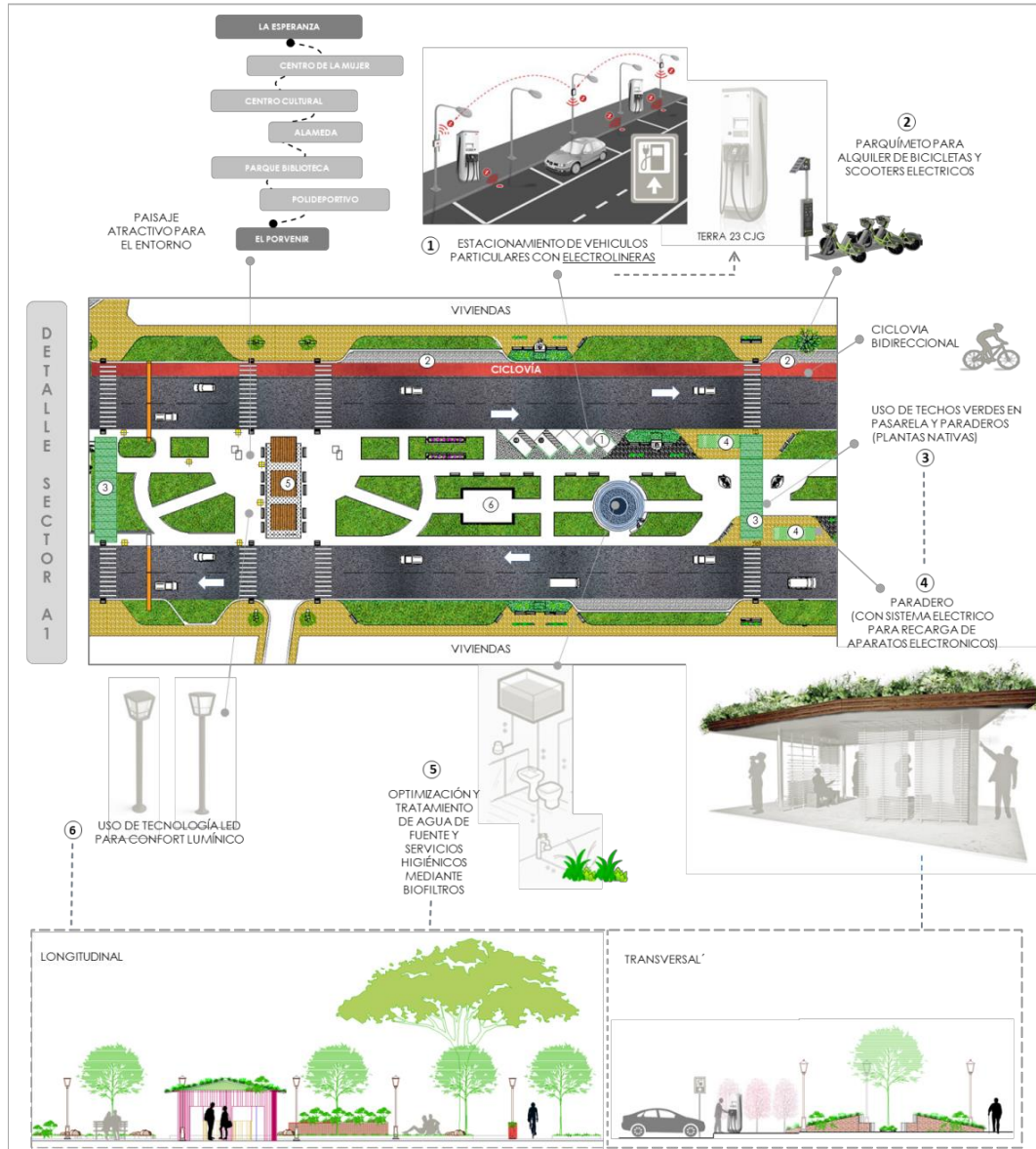


Imagen 4. Propuesta de corredor ecológico, planta y cortes del Sector A-1. Elaboración propia.

En conclusión, como parte de una **propuesta integral**, se presenta la opción de generar energía eléctrica a partir de la valorización de los residuos sólidos, abasteciendo de luz a los asentamientos emergentes y brindando una correcta habitabilidad de espacios públicos de integración social.

Además, este proyecto busca la participación activa de los ciudadanos, del empresario y de otros actores en la preservación del medio ambiente.

Para lograr la integridad y enriquecimiento del proyecto, se sugiere que el gobierno local implemente bonificaciones fiscales y/o subvenciones para los vecinos y empresas productoras que adapten políticas de ahorro energético, reciclaje y mitigación ambiental en sus diferentes áreas de desarrollo.

De esta manera, Trujillo, ciudad histórica, podría convertirse también en una ciudad moderna y cosmopolita, alineada a los objetivos del desarrollo sostenible.



Imagen 5. Propuestas de intervención urbana e iluminación nocturna. Elaboración propia.

## Endnotes

1. Silpa Kaza et al., "What a Waste 2.0: A Global Snapshot of Solid Waste Management to 2050" Urban Development Series. Washington, DC: World Bank, (2018) <http://dx.doi.org/10.1596/978-1-4648-1329-0>
2. MINAM. Dirección General de Gestión de Residuos Sólidos. Listado de Infraestructuras de Disposición Final de Residuos Sólidos, 2018.
3. INEI, Estadísticas del Instituto Nacional de Estadísticas del Perú, (2018) <https://www.inei.gob.pe/>
4. Marusela Guillén, "Estudio de distintas tecnologías para gestión y valorización energética de RSU en la Comunidad de Madrid" (Trabajo fin de máster, Universidad Pontificia de Comillas, 2018), <http://hdl.handle.net/11531/22533>
5. Néstor Montiel-Bohorquez y Juan Pérez. "Generación de Energía a partir de Residuos Sólidos Urbanos. Estrategias Termodinámicas para Optimizar el Desempeño de Centrales Térmicas". *Inf. Tecnol* 30, n° 1 (2019), <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642019000100273>
6. CEDDET, Gestión de Rellenos Sanitarios en América Latina. Grupo de trabajo de la Red de Expertos en Residuos (2018), Madrid.
7. Dimas Rúa-Orozco et al., "Generación de energía a partir de los residuos sólidos urbanos" *Bioenergía: Fuentes, conversión y sustentabilidad* 1, (2015): 275-296.
8. Armando Cid, "Análisis técnico económico de planta térmica de generación de energía eléctrica a partir de residuos sólidos municipales para Santiago de Chile" (Proyecto fin de carrera, Universidad de Chile, 2016), <http://repositorio.uchile.cl/handle/2250/142055>
9. Alberto González, "Modelado del comportamiento energético del centro de tratamiento de residuos de San Román De La Vega (León), e impacto económico de las actuaciones concurrentes en el mismo" (Tesis doctoral, Universidad de León, España, 2015), <http://hdl.handle.net/10612/5913>