



W O I M A

CORPORATION

CASO DE ESTUDIO

GENERACIÓN DE ENERGÍA
W2E DESCENTRALIZADA
NAIROBI, KENIA

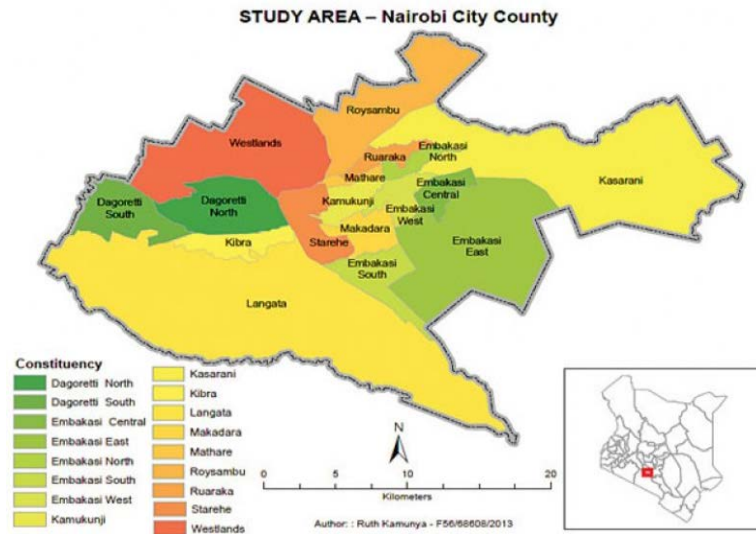




Antecedentes

La ciudad de Nairobi es la capital de la República de Kenia y el mayor centro administrativo, comercial e industrial del país. Nairobi ha experimentado un rápido crecimiento de la población en gran parte debido a la migración rural-urbana y la tasa natural de aumento, y la población de la ciudad se estima actualmente en 3.5 millones, que se espera que crezca a 6.0 millones para 2030. La tasa actual de generación de residuos es de 2,500 toneladas por día, que aumentará a 4,000 toneladas por día para 2030. Los principales impulsores del aumento en la generación de residuos son

- crecimiento de la población
- mejores niveles de vida
- rápida urbanización
- falta de implementación del concepto 3R (reducir, reutilizar, reciclar)



Nairobi se divide en 17 subcondados de diferentes tamaños, cada uno de los cuales genera aproximadamente la misma cantidad de desechos (130 a 170 toneladas por día). Aproximadamente la mitad de la generación actual de desechos sólidos se deja sin recolectar o se tira ilegalmente dentro de los límites de la ciudad y los desechos restantes se entregan al vertedero de Dandora, que se encuentra a 42 ha cerca de su capacidad total.

Dandora es un vertedero abierto antihigiénico justo al lado del río Nairobi, que tiene un efecto perjudicial importante en las condiciones higiénicas, ambientales y estéticas para la gente de la ciudad de Nairobi. Hay planes para cerrar el sitio y abrir un nuevo relleno sanitario en las afueras de la ciudad en los próximos años.

La Visión de Kenia 2030 establece en su estrategia que Kenia se convertirá en un entorno limpio, seguro y sostenible para el año 2030. Para darse cuenta de esto, la mejora de la contaminación y la gestión de residuos son primordiales.

El objetivo de este estudio de caso es demostrar cómo una solución descentralizada de gestión de residuos y generación de energía podría permitirle a Nairobi alcanzar su objetivo estratégico a un costo mínimo. Eventualmente también eliminaría la necesidad de un nuevo relleno sanitario por completo y produciría importantes beneficios secundarios para la salud pública, el medio ambiente y el cambio climático.

Sub-County	Daily Waste Generation (kg)
Kamukunji	169 000
Embakasi South	160 000
Kasarani	159 000
Ruarake	155 000
Mathare	154 000
Roysambu	153 000
Embakasi Central	148 000
Langata	148 000
Dagoretti North	146 000
Embakasi North	145 000
Dagoretti South	144 000
Embakasi West	144 000
Kibra	142 000
Westlands	141 000
Starehe	132 000
Embakasi East	131 000
Makadara	128 000

Metodología

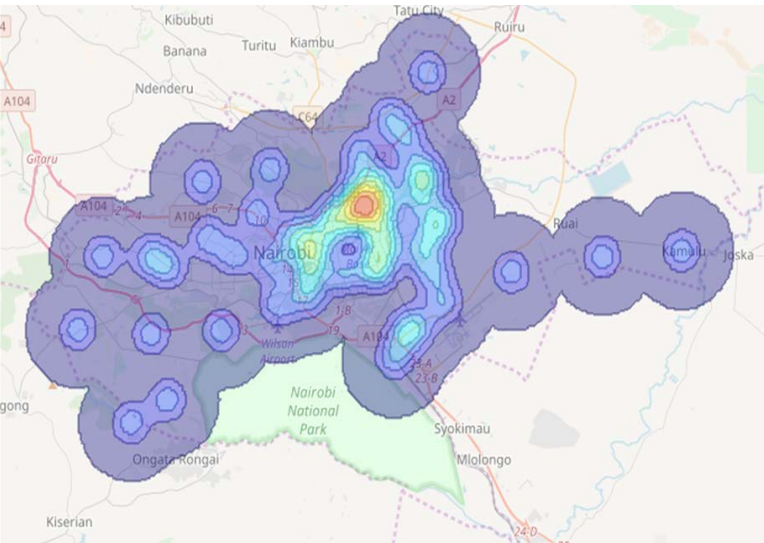
El estudio compara dos escenarios de conversión de residuos en energía en la ciudad de Nairobi

1. Una instalación centralizada de conversión de residuos en energía
2. Modelo descentralizado, donde se construyen instalaciones W2E más pequeñas en seis ubicaciones cercanas a donde se generan los desechos sólidos

Las preguntas clave en el estudio son

1. ¿Cuáles son los ahorros en el transporte de residuos?
2. ¿Cuáles son los ahorros de transmisión de energía?
3. ¿Cuáles son los ahorros de emisiones de carbono?

Se seleccionan dos puntos en el tiempo (2018 y 2030) para enfatizar la importancia del crecimiento de la población y la demanda de energía. Se supone que todos los desechos sólidos pueden ser recolectados y entregados a las instalaciones.



El estudio considera los impactos de CAPEX y OPEX en cada escenario.

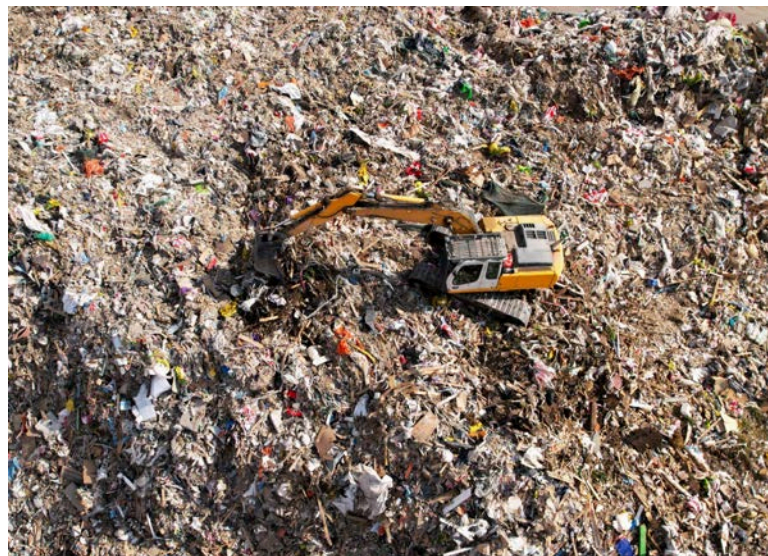
En cada subcondado, se eligen tres puntos de recolección lógicos cerca de las carreteras principales, como se muestra en el mapa de calor anterior. Se supone que cada punto de recolección recibe una cantidad igual de desechos dentro del subcondado.

La instalación centralizada de conversión de residuos en energía se encuentra en el vertedero actual en Dandora. De las seis instalaciones W2E descentralizadas, una se encuentra en Dandora y las cinco ubicaciones restantes están optimizadas en toda la ciudad en función de la disponibilidad de tierra, las rutas de la red de transmisión de energía y los patrones de generación de residuos.

Los ahorros de transporte se calculan utilizando Open Door Logistics, un cálculo del Programa de enrutamiento y programación de vehículos (VRSP)

- costos de combustible
- costes laborales
- costos de servicio y mantenimiento
- costes administrativos
- depreciación de vehículos de transporte

Los ahorros de transmisión de energía se calculan utilizando el costo estimado de nuevas líneas de transmisión y subestaciones para ambos modelos. La capacidad neta de generación de energía se estima en 40 MW_e en 2018 y en 65 MW_e en 2030.



Las emisiones de carbono del transporte de residuos se derivan de la recolección anual de residuos y las distancias de transporte, el consumo estimado de combustible del vehículo y el factor de emisión específico del combustible. También se calculan los ahorros de emisiones de carbono derivados del menor tiempo de construcción de las instalaciones descentralizadas más pequeñas y, por lo tanto, la reducción más rápida de las emisiones de carbono.

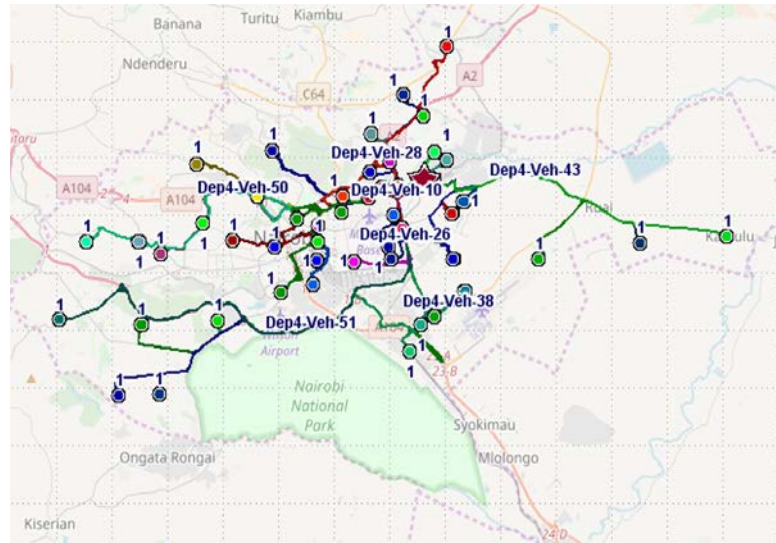
La simulación de Monte Carlo se utiliza para abordar el efecto de la incertidumbre de eventos futuros, a saber, el precio del petróleo y el costo laboral, en el año 2030 resultados. Proporcionará la probabilidad de diferentes resultados basados en datos históricos.

Results - Transportation

En la solución centralizada (imagen de la derecha), la distancia total para el transporte de desechos sólidos a Dandora (estrella púrpura) es de 2,845,000 km anuales en 2018. Esto se traduce en \$ 6,350,000 en costos totales por año. Esto consiste en 443,500 horas-hombre de trabajo, 838,000 litros de combustible diesel y \$ 2,485,000 en costos administrativos, de mantenimiento y de depreciación acumulada del vehículo.

En 2030, las cifras respectivas son

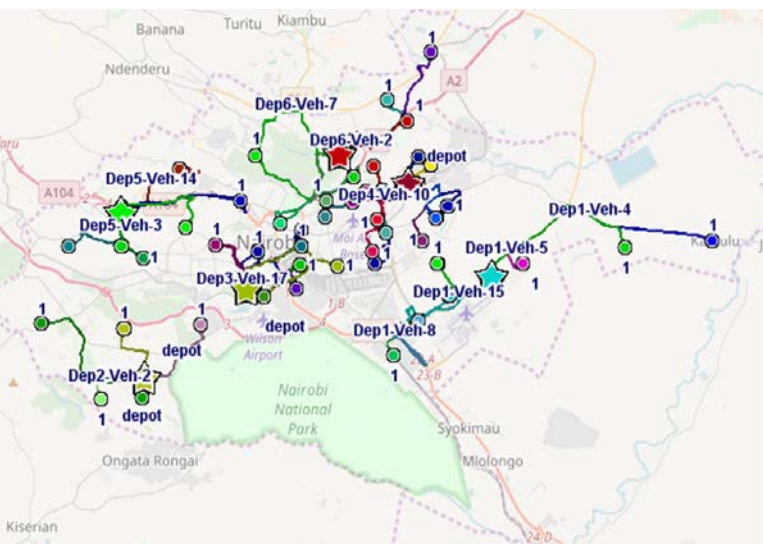
- transporte 4,454,000 km
- horas hombre 833,600 h
- combustible diesel 1,335,000 l
- costo total \$ 19,740,000



En la solución descentralizada (imagen de la izquierda), las rutas de transporte son visiblemente más cortas. La distancia total para el transporte de residuos a Dandora y las otras cinco instalaciones es de 1,348,000 km por año, lo que se traduce en \$ 4,550,000 en costos totales por año. Esto consiste en 338,200 horas-hombre de trabajo, 404,000 litros de combustible diesel y \$ 1,840,000 en costos combinados administrativos, de mantenimiento y de depreciación acumulada del vehículo.

En 2030, las cifras respectivas son

- transporte 2,186,000 km
- horas hombre 614,700 h
- combustible diesel 656,000 l
- costo total \$ 13,800,000



Los resultados anteriores se basan en los supuestos de la tabla de la derecha. Se ha hecho todo lo posible para representar el proceso de recolección y transporte de residuos sólidos y los costos asociados de la manera más realista, si no conservadora, posible.

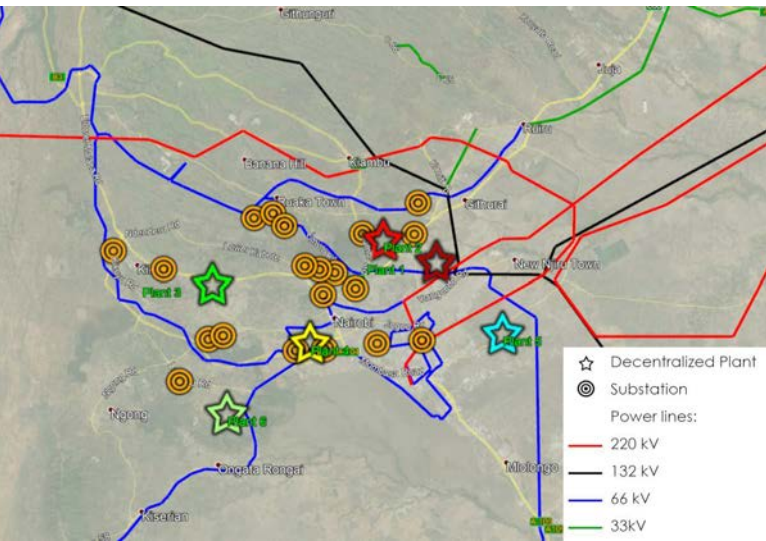
Los costos o ahorros relacionados con el uso de carreteras locales más pequeñas, el transporte de combustible a los depósitos de vehículos, la recolección de desechos dentro de los subcondados o el desplazamiento del personal no se consideran aquí. Tampoco lo es la congestión del tráfico debido a los camiones de basura que corren de un lado a otro en las carreteras principales.

Cost Item (in 2018)	Cost
Waste truck price	\$90,000 /vehicle
Waste truck's economic life cycle	15 years
Waste truck capacity	8,000 kg/vehicle
Waste loading rate	3,865 kg/h
Waste unloading time (centralized)	45 min
Waste unloading time (decentralized)	15 min
Waste truck fuel consumption	30 l/100km
Diesel fuel price	\$1.06 /liter
Waste truck maintenance cost	\$10.24 /d /vehicle
Waste truck insurance cost	\$1.024 /d /vehicle
Average transportation speed	28 km/h
Average transportation speed	15 km/h
Working hours per week	52 h
Waste transportation time per day	8 h
Driver's salary	\$2.00 /h
Waste collection team's salary	\$4.75 /h
Annual average cost increase	5%
Administration costs (of direct costs)	20%

Resultados - Transmisión de Potencia

La red de transmisión de energía de Kenia alrededor de Nairobi está operando actualmente a su máxima capacidad. Cualquier proyecto importante de desarrollo de una planta de energía necesitará construir sus propias líneas de transmisión para conectarse a la red de transmisión de energía del país.

Una central eléctrica centralizada de conversión de residuos en energía en Dandora capaz de generar 60 MW de electricidad enfrentaría graves problemas de espacio en el lugar donde ubicar la planta, su campo transformador y cómo enrutar las líneas de transmisión a través de los alrededores densamente poblados. Las plantas descentralizadas W2E podrían conectarse directamente a las subestaciones locales sin costos adicionales para la Ciudad y simultáneamente mejorar la disponibilidad de energía en los subcondados.



El costo de transmisión de electricidad tiene tres componentes; inversiones en las líneas de transmisión y equipos de transformación (CAPEX), su costo de operación y mantenimiento (O&M) y las pérdidas de transmisión durante la operación de la planta de energía. El costo de la tierra, estudios, permisos y similares no se considera aquí.

El costo total es en parte una estimación, ya que el estudio no intentó optimizar la conexión de la central eléctrica centralizada a la red. El CAPEX es ~ \$ 6,500,000, el O&M ~ \$ 130,000 p.a. y las pérdidas anuales de transmisión ~ \$ 2,600,000. Por lo tanto, el costo total en la transmisión de energía es de alrededor \$ 2,860,000 por año asumiendo una vida útil de 50 años.



Resultados - Emisiones de Carbono

El sector del transporte genera la mayor parte de las emisiones mundiales de gases de efecto invernadero; 28,5%. Las emisiones de CO₂ resultantes del uso de combustibles fósiles en los camiones de basura en Nairobi suman 2.220 toneladas en el modelo centralizado y 1.052 toneladas en el modelo descentralizado en 2018. En 2030, las cifras anuales son 3,475 y 1,705 toneladas, respectivamente.

Las emisiones se calculan de la siguiente manera

$$TE = F * EF_f * D \quad \text{where}$$

TE es la emisión total en kg de CO₂

F es el consumo de combustible (30 l / 100 km)

EF_f es el factor de emisión específico del

combustible (2.6008 kg / l) D es la distancia de transporte en kilómetros

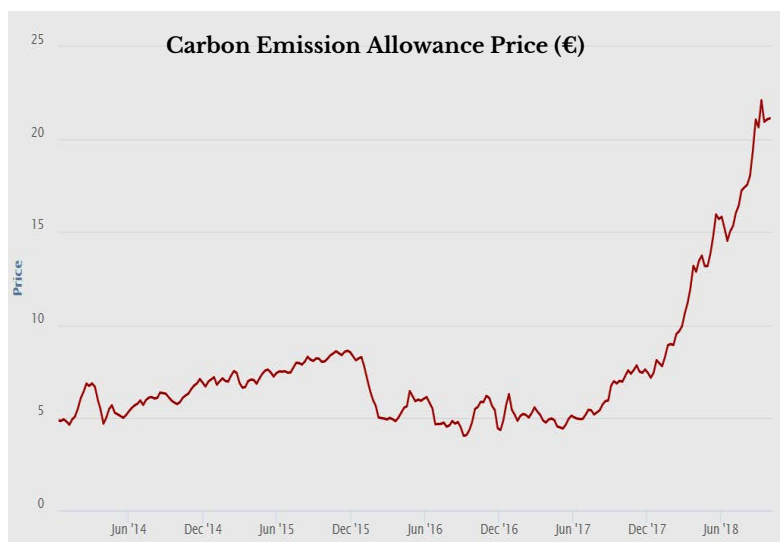


El tiempo total de desarrollo y construcción del proyecto para una gran instalación centralizada de conversión de desechos en energía capaz de manejar de 2,500 a 4,000 toneladas de desechos por día es en promedio de siete años, mientras que las instalaciones más pequeñas tardan alrededor de dos años en erigirse. Dado que las instalaciones distribuidas pueden construirse simultáneamente, ganan aproximadamente cinco años de tiempo operativo.

La incineración de los desechos orgánicos evita que el proceso de digestión anaeróbica libere metano, que es un gas de efecto invernadero 25 veces más potente que el CO₂. Basado en la deposición diaria de desechos de 2,500 toneladas, el ahorro de GEI en eqCO₂ es de más de 4,000 toneladas, lo que equivale a 1,300,000 toneladas por año.

El comercio de emisiones de carbono es un método basado en el mercado para controlar la generación de contaminación. Ha sido adoptado por la mayoría de los países desarrollados y se está extendiendo gradualmente por todo el mundo. Aunque ninguno de los sistemas de comercio de emisiones incluye actualmente emisiones de transporte por carretera, también se les puede dar un valor teórico.

El valor de los derechos de emisión (una tonelada de eqCO₂) ha experimentado un fuerte aumento recientemente, desde un promedio a largo plazo de \$ 7.50 por derecho de emisión hasta los actuales \$ 24.00. El uso de este precio de contrato reciente arroja valores para el transporte y las emisiones de metano como \$ 53,000 y \$ 31,200,000 .



Ahorros

Los ahorros de transporte entre las soluciones centralizadas y descentralizadas de conversión de residuos en energía son directamente atribuibles a las rutas más cortas

- menor consumo de combustible
- menos horas de trabajo
- menos vehículos
- menos mantenimiento

El ahorro anual asciende a

- 2018; \$ 1,800,000
- 2030; \$ 5,940,000

En 2030, el modelo descentralizado requiere 81 camiones menos y 440 menos personal que el centralizado. Para decirlo de otra manera, las 4,000 toneladas por día en 2030 se pueden recolectar con los mismos recursos que se necesitan para transportar todos los desechos a Dandora en 2018.

Los ahorros de transmisión se deben principalmente a la falta de pérdidas de transmisión en el modelo descentralizado. El resto son la depreciación y O&M de las líneas de transmisión y transformadores de la central eléctrica centralizada. El ahorro anual asciende a

- 2018; \$ 2,860,000
- 2030; \$ 2,960,000

El ahorro total del modelo descentralizado de gestión de residuos y generación de energía en comparación con el modelo centralizado es una combinación de ahorro de transporte y ahorro de transmisión de energía. Estos suman aproximadamente

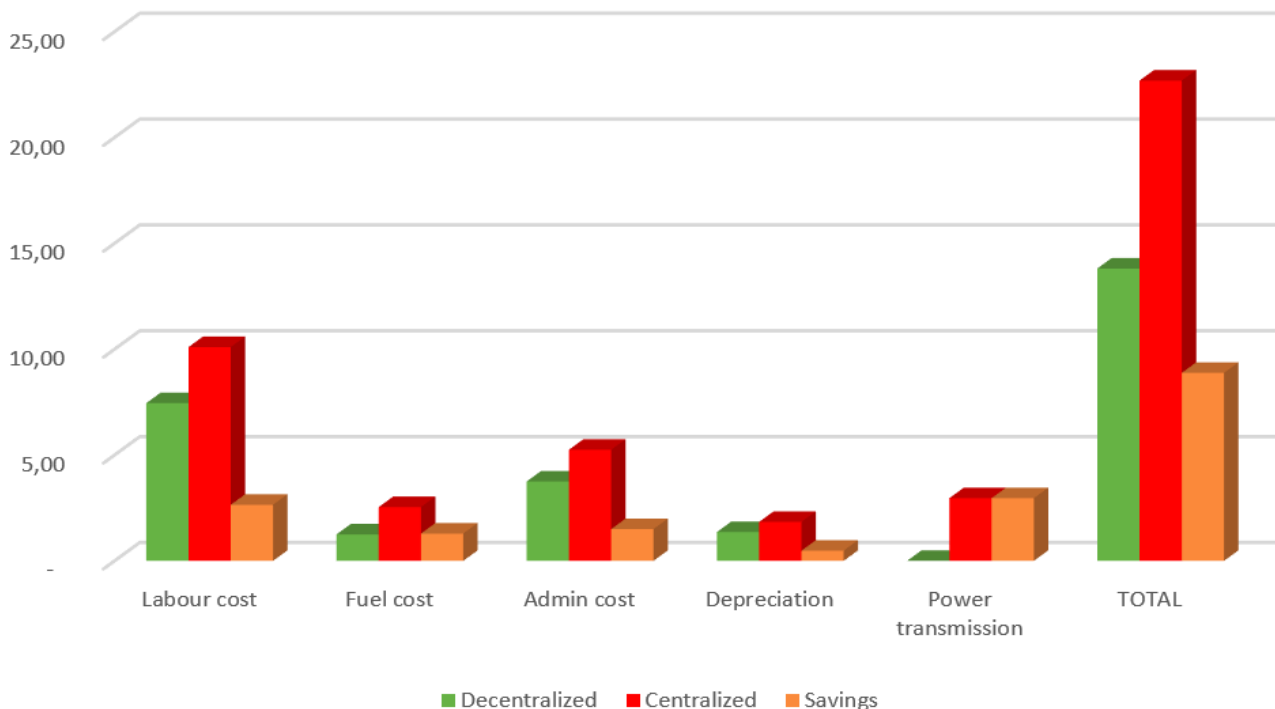
- 2018; \$ 4,660,000
- 2030; \$ 8,900,000

Durante el período de 12 años en el estudio, los ahorros acumulados ascienden a \$ 83,550,000 o el 39% del costo total. Los valores anteriores suponen un aumento inflacionario anual del 5% en todos los costos.

Pronosticar el valor de los ahorros futuros atribuibles a costos desconocidos, principalmente el costo laboral y el precio del petróleo, es difícil con precisión. Al observar los datos históricos, la volatilidad del precio del petróleo solo en los últimos ocho años ha sido del 37%. Aquí es donde la simulación de Monte Carlo ayudará a producir el resultado más probable de eventos futuros para ayudar a tomar una mejor decisión hoy.

Según la simulación, los ahorros generados serán de entre \$ 60,270,000 y \$ 145,560,000 con una probabilidad del 90%.

Cost Comparison Table for 2030 (M€)



Otros beneficios

El modelo descentralizado de conversión de residuos en energía no solo es una solución financieramente sólida, sino que también genera varios otros beneficios tangibles e intangibles, como

- mayor reciclaje para ahorrar materia prima virgen
- mayores tasas de recolección de residuos en costo decreciente
- más flexibilidad en la recolección y transporte de residuos
- reducción significativa de la contaminación del agua, la tierra y el aire atribuible a los desechos
- implicaciones positivas para la salud con menos alimañas y roedores
- beneficios visuales debido a menos depósitos de residuos



Muchas ciudades grandes, incluida Nairobi, están atrapadas en un antiguo vertedero ubicado en el centro de la ciudad. Originalmente se establecieron en las afueras de la ciudad, pero el rápido crecimiento los ha dejado encerrados dentro de los límites de la ciudad.

Los vertederos existentes son una fuente de combustible tan buena para las instalaciones de W2E como los desechos generados recientemente. Los residuos depositados en la tierra se alimentan a través de la planta de clasificación previa, donde se eliminan los materiales reciclables y los materiales inertes. El suelo ya compostado se reserva para fines de paisajismo posteriores y el material inorgánico se incinera para obtener energía. El antiguo vertedero puede ser reconstruido para, p. vivienda o fines recreativos.



Las pequeñas instalaciones W2E ofrecen una oportunidad de experimentación rentable sobre si la incineración de residuos puede ser la solución adecuada para el área / país. Debido a su pequeño tamaño, estructura modular y alto nivel de prefabricación, requieren menos diseño e ingeniería, tienen procesos de permisos más rápidos y estarán en funcionamiento mucho más rápido que las plantas tradicionales.

Dado que la generación de energía se distribuye alrededor la ciudad más cerca de los usuarios finales, las instalaciones pueden ofrecer exactamente el tipo de energía que el local demanda de la comunidad; electricidad, vapor o térmica energía como calefacción o refrigeración. Combinando esto con el reciclaje de materiales ofrece a las nuevas PYME un crecimiento viable plataforma.



Discusión

Este estudio todavía deja espacio para una mayor optimización de la descentralización de generación de residuos a energía. Algunos elementos clave podrían ser

- *Número de instalaciones W2E.* Ahora el número estaba predefinido como seis ubicaciones, cada una con ~ 400 tpd de residuos y entregando 6MW_e. Las plantas podrían distribuirse más a 10 o incluso 15 ubicaciones.
- *Ubicaciones de instalaciones W2E.* Solo se realizó una ronda de optimización con respecto a las ubicaciones.
- *Soluciones de tratamiento de residuos.* Solo se consideraron las soluciones de clasificación previa e incineración de residuos. P.ej. la biogasificación y el compostaje también podrían estudiarse como soluciones complementarias.
- *Productos energéticos generados.* El estudio se concentró en la generación de electricidad, aunque el vapor o la energía térmica podrían tener más demanda por parte de los compradores industriales locales.
- *Propiedad y costo de la tierra.* El título de la tierra y el costo de las centrales eléctricas y las líneas de transmisión podrían ser un obstáculo importante en la planificación.

- *Tamaño del camión.* Solo se consideraron en el estudio camiones de ocho toneladas de capacidad. El modelo distribuido incluso podría pagarse con camiones de una tonelada.
- *Selección de ruta.* Solo se utilizaron las carreteras principales en la optimización de la ruta. Agregar carreteras de menor categoría probablemente generaría ahorros adicionales.
- *Tiempo de recolección de residuos.* Se asumió que todos los desechos fueron transportados durante el turno de día normal. Especialmente la recolección y el transporte localizados de ruta corta se pueden hacer fuera de las horas pico.
- *Impacto de la congestión.* Ambos modelos utilizaron los mismos valores de velocidad estática del camión independientemente de la hora del día. Un VRSP dinámico también consideraría el impacto de las horas pico.
- *Costos de financiamiento durante el período de construcción.* Especialmente el modelo centralizado sufre costos de financiamiento durante el período de construcción de 5 a 7 años.

Cada uno de los factores anteriores respalda el modelo descentralizado más que el centralizado, creando así ahorros y beneficios adicionales.



"En los próximos 12 años, la solución descentralizada de conversión de residuos en energía ahorraría a la ciudad de Nairobi un total de más de USD 83.5 millones"



W O I M A

INFORMACIÓN DE CONTACTO

Henri Kinnunen

Director Ejecutivo

henri.kinnunen@woimacorporation.com

+358 40 835 8974

Tapio Gylling

Director de Operaciones

tapio.gylling@woimacorporation.com

+358 50 347 2799

Tapani Korhonen

Director de Tecnología

tapani.korhonen@woimacorporation.com

+358 44 989 1513

Joona Piirto

Director de Proyectos

joona.piiro@woimacorporation.com

+358 50 387 9883

DIRECCIÓN POSTAL / DE VISITA

Virtaviiva 8F

65320 Vaasa, FINLAND

www.woimacorporation.com

info@woimacorporation.com

TU CONEXIÓN LOCAL

