



Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar, Ciudad de México, México.
ISSN 2707-2207 / ISSN 2707-2215 (en línea), enero-febrero 2026,
Volumen 10, Número 1.

https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v10i1

ESTACIÓN DE TRANSFERENCIA DE RESIDUOS SÓLIDOS: INFRAESTRUCTURA ESTRATÉGICA PARA EL CORREDOR INTEROCEÁNICO DEL ISTMO DE TEHUANTEPEC EN EL ESPINAL, OAXACA

**SOLID WASTE TRANSFER STATION: STRATEGIC
INFRASTRUCTURE FOR THE INTEROCEANIC CORRIDOR OF THE
ISTHMUS OF TEHUANTEPEC IN EL ESPINAL, OAXACA**

Juan Alberto Cortés Castillejos
Instituto Tecnológico del Istmo

Nora del Carmen Antonio Cruz
Instituto Tecnológico del Valle de Etla

José Manuel Castillejos González
Instituto Tecnológico del Istmo

Silvia Santiago Cruz
Instituto Tecnológico de Oaxaca

Luis Alberto Martínez Santiago
Instituto Tecnológico de Oaxaca

Estación de Transferencia de Residuos Sólidos: Infraestructura Estratégica para el Corredor Interoceánico del Istmo de Tehuantepec en El Espinal, Oaxaca

Juan Alberto Cortés Castillejos¹

juan.cc@istmo.tecnm.mx

<https://orcid.org/0009-0005-0838-0620>

División de Estudios de Posgrado e Investigación, Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico del Istmo, 70000 Juchitán de Zaragoza, Oaxaca, México

Nora del Carmen Antonio Cruz

m25770864@itvalletla.edu.mx

<https://orcid.org/0009-0003-6573-7863>

División de Estudios de Posgrado e Investigación, Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico del Valle de Etla, Santiago Suchilquitongo, Oaxaca, México

José Manuel Castillejos González

jose.cg@istmo.tecnm.mx

<https://orcid.org/0009-0001-7712-789X>

Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico del Istmo, 70000 Juchitán de Zaragoza, Oaxaca, México

Silvia Santiago Cruz

dir_oaxaca@tecnm.mx

<https://orcid.org/0009-0007-9720-5836>

División de Estudios de Posgrado e Investigación, Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico de Oaxaca, Oaxaca de Juárez, 68030, Oaxaca, México

Luis Alberto Martínez Santiago

luis.martinez@itoaxaca.edu.mx

<https://orcid.org/0000-0001-5142-4645>

División de Estudios de Posgrado e Investigación, Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico de Oaxaca, Oaxaca de Juárez, 68030, Oaxaca, México

RESUMEN

El inadecuado manejo de los Residuos Sólidos Urbanos (RSU) en El Espinal, Oaxaca, representa una crisis sanitaria que compromete la competitividad regional. Ante la inminente reactivación económica impulsada por el Corredor Interoceánico del Istmo de Tehuantepec (CIIT), esta investigación presenta el diseño técnico-operativo de una Estación de Transferencia como infraestructura estratégica de saneamiento y ordenamiento territorial. Mediante un diagnóstico situacional y caracterización de residuos, se identificó una generación diaria de 8.73 toneladas con una predominancia del 68% de materia orgánica, estableciendo la segregación en la fuente y el tratamiento biológico como las rutas tecnológicas óptimas. Los resultados proyectados validan una reducción del volumen de disposición final de hasta un 30% (desvío de 2.6 t/día), optimizando drásticamente los costos logísticos de transporte y mitigando la emisión de Gases de Efecto Invernadero. La propuesta integra un eje transversal de educación ambiental para asegurar la sostenibilidad del sistema. Se concluye que el proyecto es técnica y financieramente viable, posicionando al municipio en un modelo de economía circular indispensable para el desarrollo urbano resiliente del Istmo.

Palabras clave: estación de transferencia, gestión integral de rsu, corredor interoceánico, economía circular, infraestructura sostenible.

¹ Autor principal

Correspondencia: juan.cc@istmo.tecnm.mx

Solid Waste Transfer Station: Strategic Infrastructure for the Interoceanic Corridor of the Isthmus of Tehuantepec in El Espinal, Oaxaca

ABSTRACT

The inadequate management of Municipal Solid Waste (MSW) in El Espinal, Oaxaca, represents a sanitary crisis that compromises regional competitiveness. In light of the imminent economic reactivation driven by the Interoceanic Corridor of the Istmo de Tehuantepec (CIIT), this research presents the technical-operational design of a Transfer Station as strategic infrastructure for sanitation and territorial planning. Through a situational diagnosis and waste characterization, a daily generation of 8.73 tons was identified with a 68% predominance of organic matter, establishing source segregation and biological treatment as the optimal technological routes. Projected results validate a reduction in final disposal volume of up to 30% (diversion of 2.6 tons/day), drastically optimizing logistical transport costs and mitigating Greenhouse Gas (GHG) emissions. The proposal integrates a transversal axis of environmental education to ensure system sustainability. It is concluded that the project is technically and financially viable, positioning the municipality within a circular economy model indispensable for the resilient urban development of the Istmo de Tehuantepec.

Keywords: transfer station, integrated solid waste management, interoceanic corridor, circular economy, sustainable infrastructure.

*Artículo recibido 10 diciembre 2025
Aceptado para publicación: 10 enero 2026*



INTRODUCCIÓN

Esta investigación se considera de alta relevancia debido a que aborda una de las problemáticas más críticas en el municipio de El Espinal, Oaxaca: el inadecuado manejo y disposición final de los residuos sólidos urbanos. La carencia de infraestructura apropiada para la recolección, separación y tratamiento ha desencadenado impactos ambientales y sociales significativos, transformándose en una crisis documentada de salud pública y degradación ecológica (1, 2). Esta situación no solo representa un reto operativo, sino una vulneración a los derechos fundamentales consagrados en el Artículo 4º de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos (CPEUM - Párrafo reformado DOF 09-10-2025) (3), el cual garantiza la protección de la salud (Párrafo reformado DOF 07-06-2024) (4) y el derecho a un medio ambiente sano para el desarrollo y bienestar (Párrafo reformado DOF 17-12-2025) (5). La magnitud del daño ambiental se evidencia en la contaminación de recursos vitales (6). Los residuos sin tratamiento liberan lixiviados y contaminantes que se infiltran en el subsuelo, afectando la fertilidad de la tierra y la calidad de los mantos acuíferos (7). Datos locales señalan situaciones alarmantes, como la contaminación del canal de riego que abastece a los ranchos de la zona, el cual recibe escurrimientos directos de contaminantes pluviales. A esto se suma la contaminación atmosférica derivada de la quema informal de basura, una práctica que emite gases tóxicos, metano y dióxido de carbono, contribuyendo tanto a la degradación de la capa de ozono como al efecto invernadero (8).

Esta gestión deficiente no es un caso aislado, sino parte de una crisis regional sustentada por datos contundentes. Reportes periodísticos recientes han contabilizado al menos 42 tiraderos a cielo abierto operando irregularmente en la región del Istmo de Tehuantepec, por otro lado la SEMARNAT establece que para Oaxaca existe un aproximado de 2200 tiraderos irregulares, lo que ha derivado en consecuencias administrativas reales, como la sanción económica impuesta al municipio de El Espinal en 2022 por la Procuraduría de Protección al Ambiente del Estado de Oaxaca (PROPAEO) debido al manejo incorrecto de sus desechos (9).

Ante este escenario, la investigación propone la instalación de una **Estación de Transferencia de Residuos Sólidos**. Esta infraestructura permitirá optimizar la recolección, clasificación y compactación de basura, reduciendo en más del 30% el volumen enviado a disposición final.



El proyecto posee una sólida validez técnica y social al alinearse directamente con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), un marco global adoptado por las Naciones Unidas en la Agenda 2030 para erradicar la pobreza y proteger el planeta (10). En particular, esta infraestructura contribuye de manera sustancial al ODS 3 (Salud y bienestar), ya que al erradicar los tiraderos a cielo abierto se eliminan focos de infección y vectores de enfermedades. Simultáneamente, impulsa el ODS 11 (Ciudades y comunidades sostenibles) al dotar a El Espinal de una infraestructura crítica que moderniza la gestión de servicios públicos y promueve un entorno urbano ordenado. Desde una perspectiva económica y operativa, el proyecto materializa el ODS 12 (Producción y consumo responsables) al transitar hacia un modelo de economía circular, facilitando la segregación y valorización de materiales. Finalmente, es una acción contundente a favor del ODS 13 (Acción por el clima), mitigando significativamente la emisión de gases de efecto invernadero producidos por la descomposición descontrolada (11).

En el marco del desarrollo regional impulsado por el Corredor Interoceánico del Istmo de Tehuantepec, esta propuesta trasciende la dimensión puramente ambiental para convertirse en un motor de bienestar económico y competitividad municipal (12). La implementación de la Estación de Transferencia representa una respuesta estratégica ante el incremento en la demanda de servicios públicos derivado del dinamismo demográfico y comercial que experimenta la región. Su operación no solo optimiza las finanzas públicas al reducir los costos logísticos y de transporte asociados al traslado ineficiente de desechos , sino que también detona cadenas de valor locales mediante la recuperación y comercialización de materiales reciclables, transitando hacia una economía circular (13). Asimismo, este modelo de gestión contribuye al desarrollo social mediante la generación de "empleos verdes" y la protección de actividades económicas primarias —como la agricultura y ganadería— al salvaguardar la calidad del suelo y los recursos hídricos de los que dependen los ranchos locales (14). En consecuencia, el proyecto alinea a El Espinal con los estándares de infraestructura sostenible necesarios para integrarse exitosamente a la modernización del Istmo. A continuación, la Tabla 1 detalla la contribución específica del proyecto a las metas globales de la Agenda 2030 (15):

Tabla 1. Alineación del proyecto con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS)

Impacto Directo del Proyecto en El		
ODS	Espinal	Justificación Técnica
		La Estación de transferencia elimina los focos de infección por fauna nociva y previene enfermedades respiratorias y gastrointestinales derivadas de la
	Reducción	de quema de basura y la contaminación de acuíferos, en
ODS 3: Salud y Bienestar	y enfermedades y riesgos sanitarios.	cumplimiento del Art. 4º Constitucional y la Ley General de Salud
		Transforma la gestión de residuos de un problema de
ODS 11: Ciudades y Comunidades Sostenibles	Mejora de infraestructura y gestión urbana.	la salubridad a un servicio público eficiente, mejorando y la imagen urbana y reduciendo el impacto ambiental per cápita de la ciudad
		La infraestructura permite clasificar y valorizar
ODS 12: Producción y Responsables	Fomento de economía circular y el reciclaje.	la residuos (plástico, vidrio, cartón), reincorporándolos a cadenas productivas y reduciendo la extracción de nuevos recursos naturales
		Al evitar la descomposición sin control y las quemas
	Mitigación de Gases de	a cielo abierto, se reducen las emisiones de metano
ODS 13: Acción por el Clima	Efecto Invernadero (CH ₄) y dióxido de carbono (CO ₂), contribuyendo a (GEI).	las metas climáticas nacionales

En definitiva, la relevancia de esta intervención trasciende el cumplimiento administrativo y se sustenta en cuatro pilares fundamentales: la reducción drástica de los impactos ambientales derivados de la disposición inadecuada; la optimización logística que hace eficiente la recolección y el traslado; el fomento de una nueva cultura ciudadana de separación y aprovechamiento (16); y, finalmente, su

contribución tangible al desarrollo sustentable y la mejora integral de la calidad de vida en El Espinal, Oaxaca.

1.1. Objetivo general y Objetivos específicos

Objetivo General Diseñar la propuesta técnica para la instalación de una Estación de Transferencia de Residuos Sólidos Urbanos (RSU) en el municipio de El Espinal, Oaxaca, que optimice la logística de recolección, transporte y disposición final, mitigando los impactos ambientales y sanitarios derivados de la gestión actual.

Objetivos Específicos

- **Diagnosticar** la situación actual de la gestión de residuos en El Espinal, cuantificando la generación per cápita y caracterizando la composición de los desechos para establecer la línea base del proyecto.
- **Determinar** la ubicación estratégica y el dimensionamiento operativo de la planta de transferencia, considerando criterios de accesibilidad, volumen de carga y normatividad vigente.
- **Evaluar** la viabilidad técnica y ambiental del proyecto, estimando la reducción de la huella de carbono y la optimización de recursos económicos municipales.
- **Diseñar** un programa integral de educación ambiental y participación comunitaria que fomente la separación en origen y garantice la sostenibilidad operativa de la estación.
- **Alinear** la propuesta con el marco legal aplicable, asegurando el cumplimiento estricto de la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de Residuos (LGPGIR) (17, 18), las Normas Oficiales Mexicanas (NOM-083-SEMARNAT, NOM-087-SEMARNAT) (19) y la legislación ambiental del Estado de Oaxaca (20).

1.2. Metodología empleada

La metodología de esta investigación se estructuró en cuatro fases estratégicas diseñadas para garantizar la rigurosidad técnica del proyecto. Inicialmente, se procedió a la **recolección y análisis de información** primaria y secundaria, abarcando la revisión de documentos oficiales de SEMARNAT, INECC y la LGPGIR, así como el análisis de reportes municipales y la realización de entrevistas semiestructuradas con personal de la Dirección de Servicios Públicos Municipales (21). Posteriormente, se elaboró un **diagnóstico situacional** para evaluar la infraestructura existente, las rutas de recolección y las

condiciones del tiradero actual, aplicando los criterios de la NOM-083-SEMARNAT-2003 para identificar deficiencias operativas y riesgos ambientales (22). Sobre esta base, se realizó la **proyección de generación de residuos** utilizando datos demográficos del Censo 2020 del INEGI y un coeficiente de generación per cápita de 1 kg/hab·día, lo que permitió modelar escenarios de crecimiento poblacional y de carga operativa a 10 años (23). Finalmente, se desarrolló el **diseño conceptual de la planta de transferencia**, definiendo capacidades mínimas y evaluando alternativas de ubicación en función de la accesibilidad, la distancia a zonas de generación y el cumplimiento normativo, validando la propuesta mediante un análisis comparativo de beneficios económicos y ambientales con municipios similares (24).

1.3. Caracterización del área en que participa

Ubicación y contexto demográfico. El proyecto se circunscribe al municipio de El Espinal, Oaxaca, localizado en la región del Istmo de Tehuantepec (25). Esta zona presenta un perfil semi-rural con una dinámica de crecimiento poblacional moderada del 5% en la última década. De acuerdo con el Censo de Población y Vivienda 2020 (INEGI), el municipio cuenta con 8,730 habitantes, cuya economía se basa primordialmente en el comercio, la agricultura y los servicios. Este crecimiento demográfico y comercial ha incrementado la presión sobre la infraestructura existente, generando una producción diaria estimada de 8.73 toneladas de residuos sólidos (26).

Infraestructura y problemática actual. Físicamente, el área enfrenta una crisis operativa debido a que no cuenta con un espacio de transferencia ni tratamiento. La disposición final actual se realiza en un tiradero a cielo abierto sin control sanitario, ubicado de manera irregular a un costado de las vías del ferrocarril Ixtepec-Arriaga. Esta ubicación crítica ha generado focos de infección, contaminación de mantos freáticos y degradación del suelo por quemas constantes, afectando zonas agrícolas y habitacionales cercanas (27).

En la actualidad, los servicios de recolección de residuos en el municipio se realiza a través de rutas convencionales que opera la Dirección de Servicios Públicos Municipales. No obstante, dichas rutas resultan insuficientes para manejar el volumen creciente de desechos. A ello se suma la carencia de infraestructura adecuada para el tratamiento, separación y valorización de residuos, carencia que hace más costosa e ineficiente el proceso de recolección y transporte lo que ha derivado a la acumulación de

basura en espacios públicos, la formación de tiraderos a cielo abierto y el riesgo de un colapso inminente del sistema de disposición final (26).

Esta problemática no solo afecta negativamente la imagen urbana del municipio, sino que también genera graves impactos ambientales y de salud pública, tales como la proliferación de fauna nociva, la emisión de malos olores y la contaminación del suelo y de los cuerpos de agua, comprometiendo la calidad de vida de la población (28).

El esquema de participación del proyecto articula una red multisectorial que integra al Ayuntamiento Municipal y la Dirección de Servicios Públicos como entes rectores, en colaboración activa con la comunidad local—incluyendo sectores comerciales, generadores de servicios y zonas habitacionales—y organizaciones civiles comprometidas con la gestión sustentable. Bajo un enfoque integral, esta iniciativa busca no solo robustecer la infraestructura institucional, sino también cimentar una sólida corresponsabilidad ciudadana.

La implementación de la Estación de Transferencia (como parte del manejo integral de residuos) se erige como una solución logística estratégica: actuará como un nodo intermedio tecnificado para la centralización y clasificación de residuos (orgánicos, reciclables e inorgánicos), maximizando su valorización y minimizando el volumen enviado a disposición final (29). Operativamente, este modelo optimiza las rutas de recolección y reduce drásticamente los costos asociados al transporte hacia rellenos sanitarios regionales, garantizando la eficiencia financiera del sistema.

Más allá de su función operativa, el proyecto cataliza la transición del municipio hacia un modelo de economía circular, redefiniendo el residuo como un recurso aprovechable para mitigar la explotación de materias primas (30). A mediano y largo plazo, esta infraestructura se consolidará como un eje fundamental para la recuperación de materiales y la educación ambiental, dotando a El Espinal de las herramientas necesarias para un desarrollo urbano ordenado, resiliente y sostenible.

1.4. Problemas a resolver con su respectiva priorización

La gestión de los residuos sólidos urbanos en el municipio de El Espinal, Oaxaca, enfrenta desafíos críticos derivados de la interacción entre el crecimiento demográfico, la insuficiencia de infraestructura y la ausencia de estrategias de sostenibilidad¹. Estas carencias impactan directamente en la calidad de vida de la población, la imagen urbana y el equilibrio ecológico local (Tabla 2). A fin de direccionar las

soluciones técnicas de manera efectiva, se presenta a continuación la jerarquización de las problemáticas detectadas, justificando su nivel de prioridad en función de su impacto operativo y sanitario (31).

Tabla 2. Matriz de priorización de problemas en la gestión de residuos

Problemática Detectada	Prioridad	Justificación y Descripción Técnica
Acumulación de residuos en vía pública y espacios abiertos	Alta	Derivada de una recolección inadecuada y la falta de contenedores, esta situación genera focos de infección, proliferación de fauna nociva y obstrucción de drenajes pluviales, representando un riesgo sanitario inmediato y un deterioro severo del entorno urbano.
Ausencia de infraestructura de transferencia y clasificación	Alta	La carencia de instalaciones para la separación y valorización provoca que los desechos se mezclen, incrementando el volumen de transporte y los costos operativos. Esto anula las oportunidades de reciclaje y disminuye la eficiencia de los servicios municipales.
Insuficiencia de equipamiento y personal operativo	Media	Las rutas de recolección actuales son obsoletas o limitadas, y el personal es insuficiente para la demanda creciente. La falta de mantenimiento del equipo vehicular ocasiona retrasos, recorridos incompletos y un aumento en los costos logísticos.
Cultura y educación ambiental limitada	Media	La escasa promoción de prácticas de separación y reducción fomenta hábitos de disposición incorrecta en la ciudadanía. Sin una sensibilización adecuada, la participación en iniciativas comunitarias es baja, dificultando la implementación de un sistema de gestión integral.

Problemática Detectada	Prioridad	Justificación y Descripción Técnica
Falta de planificación y políticas sostenibles	Baja (Estratégica)	La ausencia de normativas locales y herramientas de planificación a largo plazo genera soluciones reactivas en lugar de preventivas. Aunque su impacto es indirecto, complica la continuidad de los proyectos y la gestión eficiente de recursos públicos.

1.5 Alcances y limitaciones del proyecto

El presente proyecto tiene como alcance fundamental el mejoramiento integral del sistema de manejo de residuos sólidos urbanos, estableciendo un modelo de operación que contribuya directamente al desarrollo sustentable de El Espinal y garantice el cumplimiento de la normatividad ambiental vigente. La propuesta no solo se limita a la solución técnica, sino que busca detonar beneficios socioeconómicos mediante la generación de empleos y el fortalecimiento de la economía local, al tiempo que fomenta la educación ambiental y la participación comunitaria, perfilándose como un modelo replicable para otros municipios de la región del Istmo de Tehuantepec. Sin embargo, la implementación de estas metas enfrenta limitaciones inherentes al contexto local que deben ser gestionadas (32). La viabilidad del proyecto está sujeta a la disponibilidad de recursos financieros para la inversión inicial y operación, así como a la capacidad técnica y administrativa del municipio para sostener el sistema a largo plazo. Adicionalmente, factores externos como las condiciones climáticas, las características del terreno y las barreras socioculturales de la población podrían condicionar la velocidad de adopción de las nuevas prácticas de separación y manejo de residuos (33).

2. Diagnóstico Situacional de la Gestión de Residuos Sólidos Urbanos

Deficiencias operativas y falta de segregación En la actualidad, el municipio carece de una conciencia ecológica consolidada y de un sistema de disposición final ambientalmente responsable a largo plazo. La problemática raíz reside en la ausencia de una clasificación adecuada en la fuente; la recolección se realiza de manera mezclada, depositando en un mismo contenedor residuos orgánicos, plásticos, vidrio y otros materiales que son compactados sin distinción alguna. Esta práctica, común en diversas regiones de México debido a la falta de infraestructura técnica para la separación y el reciclaje, contribuye

directamente a la proliferación de tiraderos a cielo abierto, los cuales representan focos de infección severos (34).

Infraestructura inexistente e impacto ambiental local Específicamente en El Espinal, no existe una estación de transferencia que gestione los flujos de residuos, lo que ha derivado en la operación de un tiradero a cielo abierto sin control sanitario, ubicado a un costado de las vías del ferrocarril Ixtepec-Arriaga. Este sitio opera al margen de la normatividad ambiental, generando múltiples impactos negativos: 1- **Salud pública:** Generación de focos de infección y emisión de olores inusuales y ofensivos. 2 - **Daño ecológico:** Afectaciones a la vegetación circundante y contaminación de fuentes de agua potable. 3 - **Degradación del suelo:** Deterioro visible y "decoloración del suelo" provocados por las constantes quemaduras no controladas de basura, ante la falta de tratamientos adecuados (15).

Brecha administrativa y legal Desde una perspectiva legal, el municipio cuenta con la facultad y el fundamento jurídico para gestionar de manera autónoma los Residuos Sólidos Urbanos (RSU) y los Residuos de Manejo Especial (RME). Sin embargo, existe una desconexión crítica entre la normativa y la capacidad operativa real. El municipio no cuenta con actividades industriales significativas que justifiquen grandes volúmenes de RME, pero carece drásticamente de personal capacitado y equipamiento suficiente para garantizar una recolección y separación eficientes(35).

Esta insuficiencia de recursos técnicos y financieros, compartida por muchos municipios de Oaxaca, impide la implementación de rutas logísticas eficientes, perpetuando prácticas nocivas como el vertido ilegal y la quema de desechos. A pesar de que existen antecedentes de propuestas de planes de manejo para la localidad, su implementación ha sido parcial o nula. Evidencia de ello son las sanciones económicas impuestas al municipio por manejo incorrecto de basura, las cuales señalan la persistencia de fallas en la disposición final y la limpieza del sitio (36). La clausura de basureros en zonas aledañas no ha resuelto el problema, ya que continúan operando sitios informales sin control ambiental, demostrando que las acciones municipales actuales han sido insuficientes para mitigar esta crisis sanitaria y ambiental (37).

2.1 Proyección de Residuos Generados

La gestión de residuos sólidos constituye uno de los desafíos ambientales y sanitarios más apremiantes a nivel global. De acuerdo con informes del Banco Mundial, la generación mundial de residuos supera los 2,010 millones de toneladas anuales, con una tendencia que proyecta un incremento del 70% para el año 2050 debido a la urbanización acelerada y el crecimiento demográfico. En el contexto nacional, aunque México reporta una cobertura de recolección cercana al 83%, persisten deficiencias en la disposición final, donde solo el 78% de lo recolectado se maneja adecuadamente, evidenciando la prevalencia de tiraderos a cielo abierto (38). Para dimensionar la problemática en El Espinal, es fundamental contrastar sus indicadores con los estándares de otras regiones. Como se observa en la **Tabla 3**, la generación per cápita estimada para el municipio (1.0 kg/hab·día) es consistente con el promedio de localidades semiurbanas en México, aunque se mantiene por debajo de los altos niveles de consumo observados en países de la OCDE (39).

Tabla 3. Comparación internacional de generación de residuos sólidos

Región / País	Generación per cápita (kg/hab·día)	Observaciones
Países de la OCDE	1.4 – 2.0	Alto consumo y sistemas avanzados de separación
América Latina	0.9 – 1.2	Tendencia creciente por urbanización
México (promedio nacional)	0.86 – 1.1	Variabilidad entre zonas urbanas y rurales
Oaxaca (estimado)	0.8 – 1.0	Limitada infraestructura de valorización
El Espinal (estimado)	1	Coincide con municipios semiurbanos

A nivel local, el municipio de El Espinal enfrenta una presión creciente sobre sus servicios públicos. Según el Censo de Población y Vivienda 2020 del INEGI, la localidad cuenta con 8,730 habitantes.

Considerando el coeficiente de generación per cápita validado anteriormente, se estima una producción base de 8.73 toneladas diarias, equivalentes a 3,186 toneladas anuales. Para asegurar la viabilidad de la planta de transferencia a largo plazo, se ha realizado un análisis prospectivo a 15 años. La **Tabla 4** detalla este crecimiento, mostrando cómo la infraestructura deberá soportar un incremento gradual de la carga operativa, pasando de 8.73 t/día en 2020 a 14.2 t/día para el año 2035 (40).

Tabla 4. Proyección de generación de residuos en El Espinal (2020–2035)

Año	Población estimada	Generación diaria (t/día)	Generación anual (t/año)
2020	8,730	8.73	3,186
2025	10,000	10	3,650
2030	12,200	12.2	4,453
2035	14,200	14.2	5,183

Un aspecto crítico para el diseño técnico de la planta es la caracterización de los desechos. El análisis presentado en la **Tabla 5** revela que el 70% de los residuos generados (la suma de orgánicos y reciclables) posee potencial de valorización (41). Este dato justifica la necesidad de incluir áreas específicas de separación y pretratamiento, ya que solo el 30% restante corresponde a material inorgánico no valorizable que requerirá disposición final.

Tabla 5. Composición estimada de los residuos en El Espinal

	Porcentaje	Generación	
Tipo de residuo	(%)	diaria (t/día)	Implicaciones para la planta
Orgánicos	40%	3.49	Requiere área de pretratamiento
Reciclables	30%	2.62	Necesita zona de separación y acopio
Inorgánicos no valorizables	30%	2.62	Se envían a disposición final
Total	100%	8.73	—

Adicionalmente, la operación de la planta debe contemplar las fluctuaciones en la generación de basura

derivadas de la dinámica social del municipio. Como se detalla en la **Tabla 6**, existen periodos críticos como las festividades locales y la temporada agrícola que pueden incrementar el volumen de residuos entre un 10% y un 15%, lo que exige un diseño con la flexibilidad suficiente para absorber estos picos de demanda (42).

Tabla 6. Variabilidad estacional de la generación de residuos

Periodo	Variación estimada	Causas principales
Festividades locales	10% a +15%	Eventos comunitarios, ferias, celebraciones
Temporada agrícola	0.05	Residuos orgánicos y empaques
Vacaciones	0.08	Afluencia de visitantes
Temporada normal	0%	Generación promedio

Finalmente, el análisis comparativo regional subraya la urgencia del proyecto. Al contrastar la situación de El Espinal con municipios vecinos del Istmo de Tehuantepec en la **Tabla 7**, se evidencia un rezago significativo en infraestructura. Mientras que municipios como Juchitán y Tehuantepec ya operan plantas de transferencia, El Espinal continúa dependiendo de tiraderos a cielo abierto, lo que incrementa los riesgos ambientales y los costos operativos (43).

Tabla 7. Comparativa de infraestructura y generación de residuos en municipios clave del Istmo de Tehuantepec

Municipio	Población (hab)	Generación Estimada (t/día)	Cuenta con Planta de Transferencia	Observaciones y Estado Operativo
Juchitán	113,000	113	Sí	Infraestructura saturada actualmente; requiere proyectos de ampliación para manejar el volumen excedente.
Ixtepec	26,000	26	No	Realiza el traslado directo hacia el relleno regional, lo que incrementa sus costos logísticos.
Tehuantepec	67,000	67	Sí	Presenta un modelo de operación eficiente, sirviendo como referencia técnica para la zona.
El Espinal	8,730	8.73	No	Dependencia crítica de un tiradero a cielo abierto; carece de infraestructura intermedia y de control sanitario.

Nota: El análisis evidencia la disparidad en infraestructura regional. El Espinal destaca por la ausencia de sistemas de transferencia pese a su generación constante, lo que justifica la inversión en el proyecto.

El análisis de los datos presentados confirma que, si bien El Espinal es un municipio de tamaño medio, su volumen de generación y su proyección de crecimiento exigen una transición inmediata hacia un modelo tecnificado. La estación de transferencia propuesta no solo atenderá la demanda actual de 8.73 toneladas diarias, sino que ofrecerá una solución modular y escalable para los próximos 15 años (44).

2.2 Marco Normativo

El marco jurídico mexicano en materia ambiental tiene su origen en el artículo 4º de la CPEUM, que a la letra dice: “toda persona tiene derecho a un medio ambiente sano para su desarrollo y bienestar (3, 45). El Estado garantizará el respeto a este derecho. El daño y deterioro ambiental generará responsabilidad para quien lo provoque en términos de lo dispuesto por la ley. Así mismo, el marco jurídico, establece un sistema jerárquico de leyes y normas diseñado para garantizar la gestión segura, eficiente y sustentable de los residuos sólidos urbanos (RSU) y de manejo especial (RME) (46). Este andamiaje legal tiene como propósito dotar a las autoridades federales, estatales y municipales de las herramientas necesarias para el cumplimiento de los requerimientos técnicos, así como orientar la elaboración y registro de los Programas Municipales para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos Sólidos Urbanos (PMPGIRSU) (47).

A continuación, se describen los instrumentos legales rectores y su aplicación técnica en el proyecto:

2.2.1 Leyes Generales

La base legislativa se sustenta principalmente en dos ordenamientos:

Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos (LGPGIR): Promulgada en 2003, funge como el eje rector de la gestión de residuos en el país. Su objetivo primordial es prevenir la generación de desechos y minimizar sus impactos en la salud pública y el ambiente, priorizando la valorización, reutilización y reciclaje (48). Asimismo, instituye el principio de **responsabilidad compartida**, el cual obliga a la participación activa y coordinada de ciudadanos, sector privado y autoridades en todas las etapas del ciclo de vida de los residuos (49).

Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA): Establece las disposiciones para la preservación del equilibrio ecológico y regula las actividades que pueden generar impactos adversos. Es fundamental para el proyecto ya que exige la realización de evaluaciones de impacto ambiental para instalaciones de tratamiento y disposición final, asegurando la prevención de la



contaminación (50).

2.2.2. Normatividad Técnica Aplicable (NOMs)

Para la operatividad técnica del proyecto, se deben observar las Normas Oficiales Mexicanas que regulan criterios específicos de clasificación, diseño y manejo. Se presenta la síntesis normativa en la siguiente tabla:

Tabla 8. Normas Oficiales Mexicanas aplicables al proyecto

Norma Oficial		
Mexicana	Ámbito de Aplicación	Relevancia para el Proyecto
NOM-083-SEMARNAT-2003 (51)	Selección de sitio, diseño, construcción y operación de infraestructura de confinamiento y disposición sitios de disposición final.	Define los criterios técnicos y ambientales para la final de los residuos transferidos.
NOM-087-SEMARNAT-2002 (19)	Manejo de residuos sólidos, estableciendo procedimientos de recolección, transporte y generados en fuentes domésticas y comerciales, almacenamiento.	Regula la logística operativa para los residuos que constituyen la mayor parte de la carga urbana.
NOM-052-SEMARNAT-2005 (52)	Identificación y clasificación de residuos peligrosos.	Permite segregar correctamente aquellos materiales que presentan características CRETIB (corrosividad, reactividad, explosividad, toxicidad, inflamabilidad) para evitar su ingreso a la cadena de residuos urbanos.
NOM-161-SEMARNAT-2011 (53)	Regulación de los Residuos de tecnológicos/RAEE o industriales), requieren un Manejo Especial (RME).	Fundamental para gestionar residuos que, por su volumen o características (como los plan de manejo específico distinto al de los RSU.

2.3 Estrategia de Educación Ambiental y Vinculación Comunitaria

Justificación y Enfoque Si bien el deterioro ambiental global y la crisis climática han impulsado acuerdos internacionales desde la Conferencia de Estocolmo (1972) hasta la Agenda 2030, la



experiencia nacional demuestra que la infraestructura por sí sola es insuficiente sin un cambio cultural (54). En El Espinal, la problemática no es solo técnica, sino conductual: la falta de separación en la fuente y el desconocimiento sobre el reciclaje perpetúan el uso de tiraderos a cielo abierto. Por tanto, este proyecto integra la educación ambiental no como un complemento, sino como un eje operativo transversal diseñado para modificar los patrones de consumo y disposición de residuos en la población local (55-59).

Metodología de Intervención La estrategia se implementará a través de dos líneas de acción simultáneas, abordando tanto la educación formal como la informal para garantizar una cobertura integral:

1. Eje de Educación Formal (Ámbito Escolar) Se reconoce a las instituciones educativas como incubadoras de cambio, donde los estudiantes actúan como agentes multiplicadores en sus hogares (60). Las actividades específicas incluyen:

- **Talleres Didácticos:** Capacitación práctica sobre la regla de las "3R" (Reducir, Reutilizar, Reciclar) y la correcta identificación de residuos.
- **Infraestructura Pedagógica:** Instalación de puntos verdes escolares y huertos educativos para que los alumnos experimenten el ciclo de los residuos orgánicos y la valorización de materiales.
- **Concursos y Creatividad:** Certámenes de reutilización creativa para incentivar el pensamiento crítico y la innovación desde edades tempranas.

2. Eje de Educación Informal (Participación Comunitaria) Para el resto de la población, se desplegarán campañas informativas y de sensibilización que conecten los problemas locales (quemaduras, malos olores) con las soluciones propuestas (61, 62):

- **Campañas Mediáticas:** Difusión de cápsulas informativas y guías de separación a través de redes sociales y medios locales, adaptando el mensaje a la realidad sociocultural del Istmo.
- **Jornadas de Limpieza y Activismo:** Organización de eventos comunitarios para la limpieza de áreas públicas (parques, márgenes de vías), fomentando el sentido de pertenencia y la presión social positiva hacia el cuidado del entorno.
- **Socialización de la Infraestructura:** Visitas guiadas y sesiones informativas sobre el

funcionamiento de la nueva Planta de Transferencia, para que la ciudadanía comprenda el destino y valor de sus residuos separados.

Objetivos de la Estrategia El fin último de estas actividades es empoderar a los habitantes de El Espinal, transformando su rol pasivo en una ciudadanía activa y crítica. Se busca institucionalizar la separación de residuos como un hábito cotidiano, indispensable para la viabilidad técnica de la planta de transferencia y para la mitigación de los impactos ambientales locales.

2.4 Estrategias de Comunicación y Campañas Comunitarias

Para trascender la sensibilización teórica y lograr una participación efectiva, la estrategia de comunicación se estructura en tres ejes operativos diseñados para modificar hábitos de consumo y disposición en El Espinal. Esta propuesta integra herramientas digitales, activismo comunitario y la promoción de infraestructura de acopio, alineándose con las necesidades detectadas en la población.

1. Difusión Masiva y Medios Digitales Se aprovechará el alcance de los medios de comunicación y las redes sociales para difundir información veraz y accesible, rompiendo barreras geográficas. La estrategia no se limita a la publicación de datos, sino que combina conocimiento científico con narrativas locales que conecten emocionalmente con la población. Se contempla la producción de contenido multimedia (cápsulas informativas y guías digitales) enfocado en la separación correcta de residuos (63).

2. Promoción de las "3R" y Centros de Acopio El núcleo del mensaje educativo se centra en la jerarquía de gestión de residuos o las "3R", implementadas en colaboración con el municipio y el sector privado:

- **Reducir:** Minimización del uso de materiales y sustancias tóxicas desde las fases de consumo.
- **Reutilizar:** Fomento del uso repetido de productos en su forma original.
- **Reciclar:** Procesamiento final de materiales como última opción.

Para que este ciclo sea efectivo, la infraestructura es clave. Según el estudio *"El reciclaje de plásticos entre los mexicanos 2023"* de Vida Circular, el 41% de la población reciclaría más si existieran puntos de recolección cercanos a sus viviendas. En respuesta a esto, la planta de transferencia y los contenedores diferenciados fungirán como los centros de acopio estratégicos necesarios para incentivar la entrega de materiales valorizables y evitar su dispersión en calles o ecosistemas (64).

3. Activismo y Participación Ciudadana Se fomentará el activismo como la expresión visible de la

responsabilidad social. Esto incluye la organización de jornadas de limpieza en puntos críticos (parques, avenidas principales y mercados) y proyectos comunitarios de reforestación. Estas actividades buscan generar presión política positiva para fortalecer las legislaciones ecológicas locales y empoderar al ciudadano como agente de cambio (65). Para garantizar la sostenibilidad del sistema, el proyecto establece objetivos cuantificables de participación ciudadana: a) Frecuencia: Ejecución de cinco campañas educativas anuales. b) Alcance: Una meta de 300 participantes activos por campaña. c) Impacto Total: Sensibilización directa de más de 1,500 habitantes al año, estableciendo la educación ambiental como un eje transversal que une la técnica operativa con los valores comunitarios.

2.5 Estrategia de Vinculación Escolar e Infraestructura de Acopio

Justificación de la intervención escolar como motor de cambio La propuesta prioriza la intervención en centros escolares no solo por su función formativa, sino por su capacidad probada de generar resultados inmediatos en el entorno doméstico. Se ha identificado que los estudiantes actúan como "agentes multiplicadores", llevando el conocimiento del aula a sus hogares e influyendo positivamente en los hábitos de sus familias. Esta estrategia se considera superior a las campañas generalistas porque ataca la raíz del problema: la falta de cultura de separación. Al formar valores desde edades tempranas (niñez y adolescencia), se asegura un cambio generacional de fondo que garantiza la viabilidad de la gestión de residuos a largo plazo, trascendiendo las administraciones municipales (66).

Para asegurar resultados favorables, se proponen acciones pedagógicas vivenciales que conecten la teoría con la práctica local:

- **Huertos escolares y campañas prácticas:** Permiten experimentar directamente los beneficios del compostaje y el reciclaje.
- **Talleres de separación y visitas a la Planta de Transferencia:** Estas actividades son críticas para que los estudiantes comprendan el proceso técnico y su relevancia social, desmitificando el destino de la basura.
- **Sustento Normativo:** Esta vinculación cumple estrictamente con los artículos 35 y 36 de la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos (LGPGIR), que mandata la participación social como eje de la gestión.

Justificación técnica de los Contenedores Específicos La implementación de contenedores



diferenciados en El Espinal no es una medida estética, sino una necesidad técnica para la **eficiencia operativa** de la Planta de Transferencia propuesta (Figura 1). La razón principal de esta propuesta es que la separación en origen reduce drásticamente la contaminación cruzada entre residuos orgánicos, sanitarios y reciclables (67).

Figura 1. Propuesta de codificación cromática para la segregación primaria de Residuos Sólidos Urbanos (RSU) en la fuente. *Nota: Clasificación basada en la normativa para facilitar la identificación visual por parte del usuario y optimizar la pureza de los materiales recuperados.*



Esta acción generará resultados favorables articulados en tres dimensiones clave: primero, asegura la **viabilidad económica** al recibir materiales preclasificados con mayor pureza, lo que facilita su comercialización y aumenta su valor de mercado para contribuir a la sostenibilidad financiera del sistema ; segundo, garantiza la **optimización operativa**, ya que al evitar el procesamiento de grandes volúmenes mezclados se aceleran los tiempos, se reducen costos de mantenimiento y se permite establecer rutas de recolección selectiva que disminuyen el consumo de combustible y el desgaste vehicular ; y tercero, maximiza el **impacto ambiental y sanitario** al separar la fracción orgánica desde el inicio, minimizando la descomposición anaerobia descontrolada y reduciendo así la generación de lixiviados y gas metano conforme a las normativas vigentes. En definitiva, esta propuesta dual de educación e infraestructura constituye la alternativa más robusta, pues transforma el manejo de residuos en un sistema de corresponsabilidad donde el gobierno aporta la infraestructura estratégica y la ciudadanía asegura la calidad de los insumos procesados (68).

Ubicación estratégica de infraestructura y beneficios esperados La distribución de los contenedores se ha planificado priorizando zonas de alta generación de residuos, tales como mercados, escuelas, parques, áreas habitacionales densas y el perímetro cercano a la planta, asegurando en todo momento la

accesibilidad universal para personas con discapacidad y la sincronización con la frecuencia de recolección municipal. Esta logística de emplazamiento tiene como objetivo materializar beneficios operativos tangibles, destacando la reducción del volumen de residuos mezclados que ingresan a la planta y el incremento en la eficiencia de los procesos de separación y valorización, todo ello respaldado por una estrategia de concientización ciudadana mediante señalética clara que fomente el uso correcto de la infraestructura (69, 70).

2.6 Implementación de Compostaje Aprovechando el perfil semi-rural de El Espinal y la alta disponibilidad de materia orgánica, se propone integrar un sistema de compostaje comunitario como tratamiento complementario en la planta de transferencia, con el fin de transformar los residuos biodegradables en insumos productivos y reducir la carga destinada a disposición final. El procedimiento técnico comienza con la recepción y preselección de los residuos recolectados en los contenedores verdes, seguida de una etapa de triturado y mezcla con estructurantes (poda, hojas secas o aserrín) para equilibrar la relación carbono/nitrógeno y optimizar la descomposición aeróbica. El proceso continúa mediante la conformación de pilas o el uso de composteras modulares —según el volumen y espacio disponible—, sometidas a un monitoreo riguroso de temperatura, humedad y oxigenación, para concluir con una fase de maduración y cribado que garantiza la obtención de un producto homogéneo y libre de impurezas (71). El compost generado se destinará a la nutrición de áreas verdes municipales, jardines escolares y huertos comunitarios, o será donado a agricultores locales para impulsar la economía circular, alineándose estrictamente con la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos y contribuyendo a los Objetivos de Desarrollo Sostenible 11 y 12 (72).

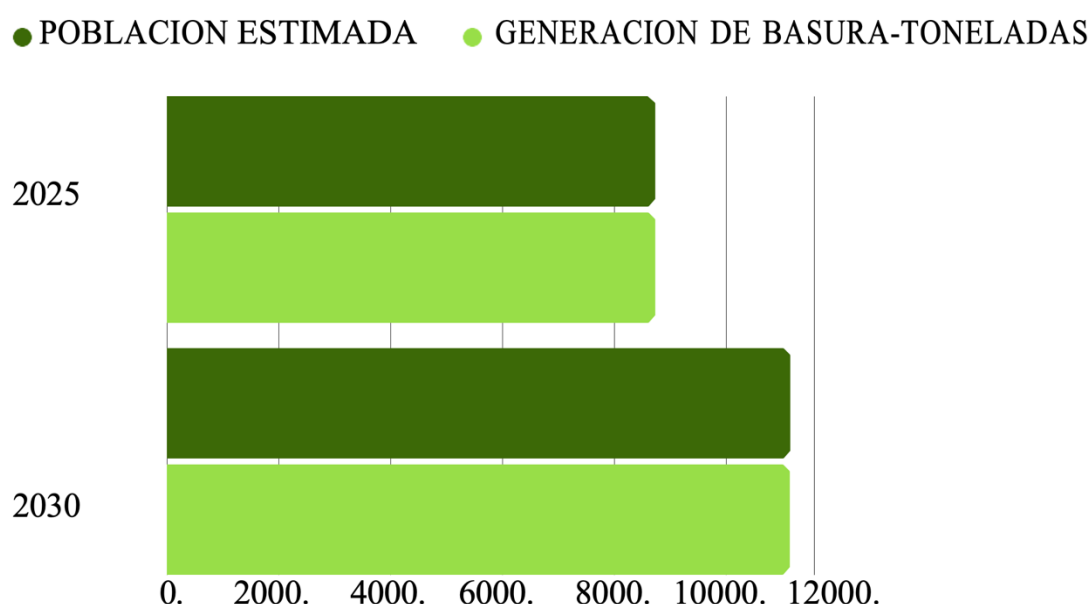
3. RESULTADOS

Este apartado expone los resultados estimados derivados del diseño y planificación integral de la Estación de Transferencia de Residuos Sólidos en El Espinal, Oaxaca. El análisis abarca desde las proyecciones demográficas y la caracterización de la composición de los residuos, hasta el cálculo del potencial de recuperación, la evaluación de los beneficios socioambientales y el impacto esperado de las estrategias de educación ambiental.

Impacto en la reducción de residuos y eficiencia operativa Las proyecciones técnicas estiman una reducción del volumen total de residuos enviados a disposición final en un rango del 20% al 30%. En

términos cuantitativos, esto significa que se dejarán de enviar hasta 2.6 toneladas diarias de material al destino final. El impacto directo de esta optimización es dual: por un lado, disminuye significativamente la presión operativa y de espacio sobre los rellenos sanitarios; por otro, genera una reducción considerable en los costos logísticos y financieros asociados al transporte y confinamiento de los desechos (**Figura 2**).

Figura 2. Proyección de reducción diaria del volumen de residuos. *Nota: Gráfica comparativa entre la generación actual de residuos orgánicos (5.93 t/día) y el volumen estimado de desvío (2.6 t/día) que se dejará de enviar a disposición final gracias a las estrategias de separación y valorización implementadas en la planta de transferencia.*



Caracterización de residuos y potencial de recuperación.

El análisis de la corriente de residuos identifica una composición predominante de materia orgánica del 68% (equivalente a 5.93 t/día), complementada por un 32% de fracción inorgánica (2.80 t/día), tal como se ilustra en la **Figura 3**. Mediante la implementación rigurosa de estrategias de separación en la fuente, compostaje y reciclaje, el municipio adquiere la capacidad de reducir el volumen total de generación entre un 20% y un 30%. En términos operativos, esta acción se traduce en el desvío de hasta 2.6 toneladas diarias que dejarán de ingresar a los sitios de disposición final (**ver Figura 4**). Este escenario proyecta un beneficio estratégico dual: prolonga significativamente la vida útil de los rellenos sanitarios y disminuye los costos logísticos inherentes al transporte y manejo convencional de los residuos.

Figura 3. Distribución porcentual de la composición de residuos sólidos urbanos en El Espinal.

Nota: Se observa un predominio de la fracción orgánica (68%), lo que evidencia el alto potencial de valorización mediante compostaje.

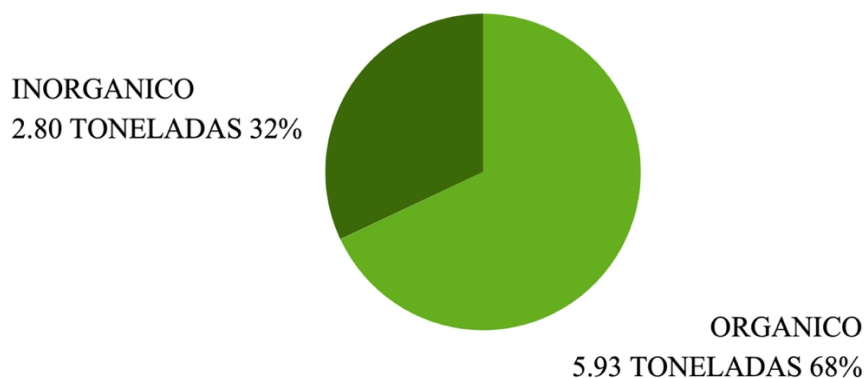
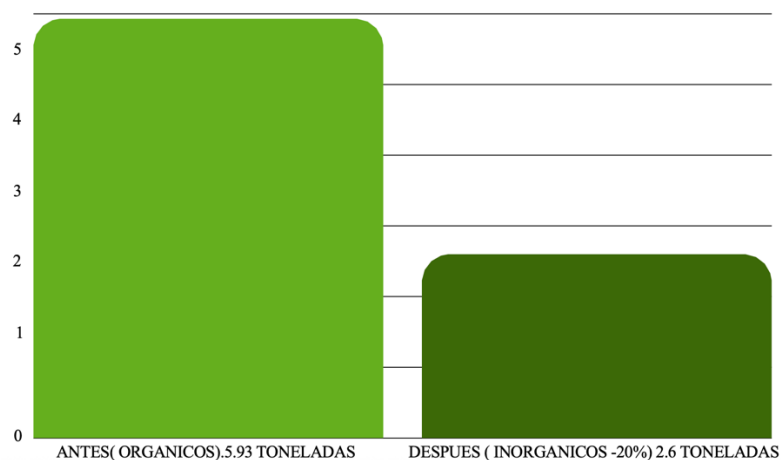


Figura 4. Proyección de reducción de volumen de residuos. *Nota: Comparativa entre la generación de orgánicos actual y el volumen estimado de desvío (2.6 toneladas) tras la implementación de la planta de transferencia.*



La recuperación de materiales reciclables: Se perita un sistema eficiente de separación en la fuente (hogares, comercios, etc.) permitiría reciclar hasta el 30% de los desechos generados. Esto representa aproximadamente 2.3 toneladas diarias de materiales valorizables (plástico, metal, vidrio y cartón) que pueden ser reincorporados a la cadena productiva. Además, la meta de recuperar el 50% de los residuos inorgánicos proyecta que cada habitante contribuya con 0.15 - 0.20kg diarios de reciclables. Este enfoque no solo alivia la presión sobre los vertederos, sino que también promueve activamente la economía circular en el municipio (Figura 5).

Figura 5. Distribución porcentual de la composición de residuos sólidos urbanos (RSU) en El Espinal, Oaxaca. *Nota: La gráfica ilustra el predominio de la fracción orgánica, que representa el 68% del total generado. Este alto porcentaje evidencia un potencial significativo para la implementación de estrategias de valorización, como el compostaje, lo que justifica la necesidad de separación en la fuente.*



3.1 Análisis de Beneficios Integrales

La implementación de la Estación de Transferencia trasciende la solución técnica inmediata, generando un impacto multidimensional que justifica su inversión bajo un esquema de beneficios estratégicos interconectados (73). En la dimensión económica, el modelo transforma la gestión de residuos en un ciclo de economía circular que genera nuevos ingresos municipales mediante la venta de materiales valorizables para su reinversión en programas comunitarios, a la par que optimiza el gasto público al reducir el volumen de traslado final en un 30% (equivalente a dejar de transportar 2.6 toneladas diarias), disminuyendo drásticamente los costos operativos asociados al combustible y mantenimiento vehicular (74). Simultáneamente, en el ámbito social, el proyecto actúa como un catalizador de bienestar al crear empleos verdes formales que dignifican la labor operativa frente a la informalidad, además de mitigar riesgos de salud pública al eliminar focos de infección y fortalecer el tejido social mediante una participación ciudadana activa y responsable (75). Finalmente, desde una perspectiva ambiental, la infraestructura contribuye directamente a la conservación ecológica al minimizar la descomposición anaerobia descontrolada de la fracción orgánica, logrando una reducción significativa en la emisión de Gases de Efecto Invernadero (GEI) como el metano (CH_4) y evitando la contaminación de suelos y mantos acuíferos por lixiviados, lo que protege los ecosistemas locales y prolonga la vida útil de la infraestructura de disposición final (76).

3.2 Estrategia de Educación Ambiental y Participación Ciudadana

La sostenibilidad operativa del sistema no depende únicamente de la infraestructura técnica, sino del compromiso activo de la ciudadanía. Para fomentar esta participación, se ha diseñado una estrategia basada en la ejecución programada de cinco campañas educativas anuales, cuyas metas cuantificables buscan sensibilizar directamente a más de 1,500 habitantes por año (con un alcance de 300 participantes por campaña) (77). La metodología se articula mediante un esquema de actividades complementarias, detalladas en la **Tabla 9** inicia con la socialización masiva para generar interés, prosigue con talleres didácticos enfocados en la capacitación práctica, y concluye con el despliegue de soporte visual para reforzar el hábito en el día a día. Este enfoque cíclico establece a la educación ambiental como el eje transversal que conecta la solución ingenieril con los valores comunitarios, asegurando la calidad de los insumos que ingresan a la planta.

Tabla 9. Matriz operativa del Ciclo de Activación Comunitaria. *Nota: La estrategia se estructura en tres fases progresivas que se ejecutan cíclicamente cinco veces al año para asegurar la adopción de hábitos sostenibles.*

Fase del			
Ciclo	Eje de Acción	Herramienta / Estrategia	Objetivo Específico
1. Entrada	Socialización Masiva	Charlas en centros comunitarios. Perifoneo y redes sociales.	Informar a la población general sobre los beneficios del proyecto y cronogramas de operación.
			Enseñar técnicamente la identificación de residuos y la correcta segregación en la fuente (orgánico vs. inorgánico).
2. Proceso	Capacitación Práctica	Talleres didácticos "Aprende a Separar". Demostraciones en escuelas.	Proveer recordatorios visuales en permanentes en el punto de disposición para minimizar errores de clasificación.
			Garantizar que los residuos que ingresan a la planta cumplan con la pureza requerida para su valorización.
3. Refuerzo	Soporte Visual	Instalación de señalética en contenedores. Distribución de guías de bolsillo.	
Resultado	Consolidación	Monitoreo de calidad de insumos	

La correcta ejecución de este ciclo de activación comunitaria asegura la calidad de los materiales recuperados y fortalece la apropiación social del proyecto, estableciendo las bases operativas y sociales necesarias para sustentar las conclusiones finales de esta investigación.

4. CONCLUSIONES

La investigación desarrollada permite validar de manera concluyente que la Estación de Transferencia de Residuos Sólidos propuesta para El Espinal, Oaxaca, trasciende su función como obra sanitaria para consolidarse como una pieza de infraestructura estratégica indispensable ante la inminente reactivación económica del Istmo de Tehuantepec. Desde la perspectiva técnica, el análisis de caracterización de residuos, el cual identificó una predominancia del 68% de materia orgánica frente a un 32% de fracción inorgánica, confirma que la segregación en la fuente y el tratamiento biológico son las rutas tecnológicas óptimas para el municipio. Los modelos operativos proyectados demuestran que la implementación de esta planta permitirá reducir el volumen de disposición final en un rango del 20% al 30%, lo que se traduce en el desvío diario de hasta 2.6 toneladas de desechos que dejarán de saturar la infraestructura regional, garantizando así el cumplimiento estricto de la normativa ambiental vigente y prolongando la vida útil de los sitios de confinamiento. En el ámbito económico y geopolítico, el proyecto se alinea directamente con las demandas de modernización urbana que exige el Corredor Interoceánico del Istmo de Tehuantepec, anticipándose al crecimiento demográfico e industrial proyectado para la región. La planta transforma el paradigma tradicional de gestión de residuos, considerado históricamente un pasivo financiero, hacia un modelo de economía circular que genera valor mediante la recuperación de materiales reciclables y la optimización logística, reduciendo drásticamente los costos de transporte y operación municipal. Esta eficiencia financiera y operativa eleva la competitividad de El Espinal, dotándolo de la capacidad instalada necesaria para ofrecer servicios públicos de calidad que soporten el desarrollo regional sin comprometer el equilibrio ecológico, actuando así como un habilitador clave para la inversión y el ordenamiento territorial. Finalmente, la sostenibilidad a largo plazo del sistema se fundamenta en la integración indisoluble entre la solución ingenieril y el capital social del municipio. Se concluye que la tecnología por sí sola es insuficiente sin una estrategia de educación ambiental robusta, por lo que el programa diseñado para impactar a más de 1,500 habitantes anualmente se establece como el componente operativo que asegura la calidad de los insumos y la corresponsabilidad



ciudadana. De esta manera, el proyecto cumple con la triple rentabilidad ambiental, económica y social, ofreciendo una solución integral que dignifica la labor de recolección mediante empleos formales, protege la salud pública al erradicar focos de infección y posiciona a El Espinal como un referente de gestión urbana resiliente en el sur de México.

Lista de notaciones y acrónimos

Notación / Sigla	Significado / Descripción
NOTACIONES Y UNIDADES	
%	Porcentaje (Proporción, tasa de crecimiento o reducción)
CH₄	Metano (Gas de Efecto Invernadero)
CO₂	Dióxido de Carbono
kg/hab/día	Kilogramos por habitante por día (Coeficiente de generación per cápita)
t/año	Toneladas por año (Generación anual proyectada)
t/día	Toneladas por día (Flujo diario de residuos)
ACRÓNIMOS Y SIGLAS	
3R	Estrategia de Reducir, Reutilizar y Reciclar
CIIT	Corredor Interoceánico del Istmo de Tehuantepec
CRETIB	Código de características de peligrosidad: Corrosivo, Reactivo, Explosivo, Tóxico, Inflamable y Biológico-infeccioso
CPEUM	Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos
GEI	Gases de Efecto Invernadero
INECC	Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático
INEGI	Instituto Nacional de Estadística y Geografía
LGEEPA	Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente
LGPGIR	Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos

NOM	Norma Oficial Mexicana
OCDE	Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos.
ODS	Objetivos de Desarrollo Sostenible (Agenda 2030)
PET	Tereftalato de Polietileno (Polímero termoplástico tipo 1)
PMPGIRSU	Programa Municipal para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos Sólidos Urbanos
PPA	Procuraduría de Protección al Ambiente del Estado de Oaxaca
RAEE	Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos
RME	Residuos de Manejo Especial
RSU	Residuos Sólidos Urbanos
SEMARNAT	Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales
SINFRA	Secretaría de las Infraestructuras y el Ordenamiento Territorial Sustentable

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Ojeda-Benitez S, Beraud-Lozano J. The municipal solid waste cycle in Mexico: Final disposal. *Resources, Conservation and Recycling*. 2003;39:239–50.
2. Solórzano Nulutagua LM, López Cabrera MA. Programa Municipal para la prevención y gestión integral de residuos sólidos en El Espinal, Oaxaca. *Escuela de Ingeniería Ambiental*; 2013.
3. Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, (2025/10/09, 2025).
4. Ley General de Salud, (2024/06/07, 2024).
5. Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente, (2025/12/17, 2025).
6. Bolan S, Padhye LP, Jasemizad T, Govarthan M, Karmegam N, Wijesekara H, et al. Impacts of climate change on the fate of contaminants through extreme weather events. *Science of The Total Environment*. 2024;909:168388.
7. Das R, Raj D. Sources, distribution, and impacts of emerging contaminants – a critical review on contamination of landfill leachate. *Journal of Hazardous Materials Advances*. 2025;17:100602.
8. Lopez JL. 23 mdp de multa por mal manejo de basura en El Espinal. 15–07–2022.
9. Bragaña R. Falta de gestión de residuos deja al menos 42 basureros a cielo abierto en Oaxaca. 2025 2025/10/16.
10. Sorooshian S. The sustainable development goals of the United Nations: A comparative midterm research review. *Journal of Cleaner Production*. 2024;453:142272.
11. Bartniczak B, Płachciak A, Raszkowski A, Lewis GJ. Good Health and Well-Being: An Assessment of Sustainable Development Goal (SDG) No.3 in the Sahel Countries. *Sustainability* [Internet]. 2024; 16(5):[2109 p.].
12. Soto A, Carmona AM, Sepúlveda-Aguirre J. Factors of economic development in the periphery of the Isthmus of Tehuantepec Interoceanic Corridor. *Journal of Infrastructure, Policy and Development*. 2024;8.
13. Kúdela J, Šomplák R, Nevrlý V, Lipovský T, Smejkalová V, Dobrovský L. Multi-Objective Strategic Waste Transfer Station Planning. *Journal of Cleaner Production*. 2019;230:1294–304.
14. Volken S, Bottazzi P. Sustainable farm work in agroecology: how do systemic factors matter? *Agriculture and Human Values*. 2024;41:1–16.



15. Abubakar IR, Maniruzzaman KM, Dano UL, AlShihri FS, AlShammari MS, Ahmed SMS, et al. Environmental Sustainability Impacts of Solid Waste Management Practices in the Global South. *Int J Environ Res Public Health*. 2022;19(19).
16. Eelager MP, Dalbanjan NP, Madihalli S, Madar M, Agadi NP, Korganokar K, et al. Pathways to a sustainable future: Exploring the synergy between sustainability and circular economy. *Sustainable Futures*. 2025;10:101208.
17. Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos, (2023/05/08, 2023).
18. Alvarado-Ibarra J, Sánchez-Duarte NE, Ruíz-Gurrola AS, Burrola-Núñez H. Implementation of an Integrated Hazardous Waste Management Program at a Public University in Mexico. *ACS Chemical Health & Safety*. 2025.
19. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos N, Secretaría de S. Protección ambiental - Salud ambiental - Residuos peligrosos biológico-infecciosos - Clasificación y especificaciones de manejo (NOM-087-ECOL-SSA1-2002). *Diario Oficial de la Federación*; 2003 2003/02/17/.
20. Rueda-Avellaneda JF, Rivas-García P, Gomez-Gonzalez R, Benitez-Bravo R, Botello-Álvarez JE, Tututi-Avila S. Current and prospective situation of municipal solid waste final disposal in Mexico: A spatio-temporal evaluation. *Renewable and Sustainable Energy Transition*. 2021;1:100007.
21. Dominguez Villanueva S, Rojas-García M, Sánchez-Ruiz F, Hernández-Reyes H, Gutiérrez L. Life cycle analysis of waste management of a brake pad manufacturing company. *Cleaner Waste Systems*. 2025;11:100314.
22. Martínez Rodríguez M, Cardona M, Martínez Ó, Villegas L. Urban solid waste management in the municipality of Benito Juárez, Quintana Roo, Mexico *Gestión de residuos sólidos urbanos en el. Espacios*. 2021;42:88.
23. Merab PB, Sadoth ST, Isidro BJ. First-Order Decay Models for the Estimation of Methane Emissions in a Landfill in the Metropolitan Area of Oaxaca City, Mexico. *Waste [Internet]*. 2025; 3(2):[14 p.].
24. Wan M, Qu T, Huang GQ, Chen R, Huang M, Pan Y, et al. A Bi-Objective Model for the Location and Optimization Configuration of Kitchen Waste Transfer Stations. *Systems [Internet]*. 2024; 12(12):[571 p.].



25. Lehmann R. The conflict surrounding wind energy projects in the Mexican Isthmus of Tehuantepec. Renewable energies and politics of scale The conflict surrounding wind energy projects in the Mexican Isthmus of Tehuantepec. Renewable energies and politics of scale The conflict surrounding wind energy projects in the Mexican Isthmus of Tehuantepec. Renewable energies and politics of scale. 2018.
26. Secretaría de Economía GdM. DataMéxico - El Espinal. Government of Mexico; 2024.
27. López D, Hooper M. Disaster Planning Across Scales: Lessons from Post-Earthquake Rubble Management in Oaxaca, Mexico. *The Plan Journal*. 2020;5:221–50.
28. Bovea M, Powell JC, Gallardo A, Capuz-Rizo S. The role played by environmental factors in the integration of a transfer station in a municipal solid waste management system. *Waste management* (New York, NY). 2007;27:545–53.
29. Abu-Qdais H, Shatnawi N, Shahrabi R. Modeling the Impact of Fees and Circular Economy Options on the Financial Sustainability of the Solid Waste Management System in Jordan. *Resources*. 2023;12.
30. Krúpová S, Koman G, Soviar J, Holubčík M. The Role of Business Models in Smart-City Waste Management: A Framework for Sustainable Decision-Making. *Systems* [Internet]. 2025; 13(7):[556 p.].
31. Renfrew D, Vasilaki V, Katsou E. Indicator based multi-criteria decision support systems for wastewater treatment plants. *Science of The Total Environment*. 2024;915:169903.
32. Grishaeva Y, Spirin I, Kiseleva S, Napolov O, Matantseva O. Solid Municipal Waste Management for Sustainable Development. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2022;988:022085.
33. Silva AF, Sánchez-Hernández MI, Carvalho LC. Monitoring municipalities' performance in advancing sustainable development goal 9: Industry, innovation, and infrastructure. *Heliyon*. 2026;12(1):e44415.
34. Das S, Pal A, Dawan S, Chakraborty S, Bhattacharya T. Environmental Hazards Associated with the Disposal of Municipal Solid Waste. 2024. p. 97–114.
35. Sasahara C, Rodrigues LS, Cetrulo TB, Gimenez BG, Alencar MV, Elliff CI, et al. Municipal solid waste governance: development and application of an index embodying the Global South context.



36. Meganoticias. El Espinal sancionado económicamente por manejo incorrecto de basura.
37. Mondragón-Zarza E, Martínez-Morales IN, Hernández-Berriel MD, Rosa Domínguez ER, Cruz-Sotelo SE, Ojeda-Benítez S. Environmental Impact of Uncontrolled Sites in the Central Region of Mexico: A Life Cycle Assessment. Sustainability [Internet]. 2025; 17(20):[9324 p.].
38. Kaza S, Yao LC, Bhada-Tata P, Van Woerden F. What a Waste 2.0: A Global Snapshot of Solid Waste Management to 2050: World Bank; 2018.
39. OECD. OECD Economic Surveys: Mexico 2024. Paris: OECD Publishing; 2024.
40. Aguilar AJ, de la Hoz-Torres ML, Aguilar-Camacho J, Guerrero-Rivera MF. Assessment of Energy Efficiency and Energy Poverty of the Residential Building Stock of the City of Seville Using GIS. Applied Sciences [Internet]. 2025; 15(12):[6438 p.].
41. Molina-Peñate E, Sánchez A. An Overview of the Technological Evolution of Organic Waste Management over the Last Decade. Processes [Internet]. 2025; 13(4):[940 p.].
42. Zhang Z, Chen Z, Zhang J, Liu Y, Chen L, Yang M, et al. Municipal solid waste management challenges in developing regions: A comprehensive review and future perspectives for Asia and Africa. Science of The Total Environment. 2024;930:172794.
43. Castillo-Leal M, Pérez Larrañaga H, Acevedo Martinez J, Vázquez O. Comparative strategic analysis of the development poles for wellbeing in San Blas Atempa and Ciudad Ixtepec, Oaxaca, Mexico. Revista de Desarrollo Económico. 2025.
44. Mabrouk AN. Techno-economic analysis of tube bundle orientation for high capacity brine recycle MSF desalination plants. Desalination. 2013;320:24–32.
45. Gutiérrez González A. The Right to a Clean and Healthy Environment: GMOS in Mexico and the European Union. Mexican Law Review. 2019;11(2):91–113.
46. Faulks J. The changing attitude towards liability for damage to the environment under european community law. European Environment. 2007;1:17–20.
47. Villalba L. Municipal Solid Waste characterization, material flow analysis and boundary work to facilitate the integration of waste pickers in Tandil, Buenos Aires, Argentina 2021.
48. Csete J, Kamarulzaman A, Kazatchkine M, Altice F, Balicki M, Buxton J, et al. Public health

and international drug policy. *Lancet*. 2016;387(10026):1427–80.

49. DOF-Mexico. [Full Title of the Law in English or Spanish]. [Publisher, e.g., Official Gazette of the Federation (DOF)]; 2003.

50. Mexican C. Law of General Ecological Balance and Protection of the Environment. Government of Mexico; 1988.

51. López-Gasca SO, Hernández-Berriel MdC, Lobo-García de Cortázar A, Buenrostro-Delgado O, Mañón-Salas MdC, Colomer-Mendoza FJ. Análisis de la NOM-083-SEMARNAT-2003 y su proyecto de modificación 2021 bajo categorías de sostenibilidad. Aplicación a tres sitios de disposición final. *Revista internacional de contaminación ambiental*. 2024;40:54977.

52. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos N. Norma Oficial Mexicana NOM-052-SEMARNAT-2005, Que establece las características, el procedimiento de identificación, clasificación y los listados de los residuos peligrosos. *Diario Oficial de la Federación*; 2006 2006/06/23/.

53. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos N. Norma Oficial Mexicana NOM-161-SEMARNAT-2011, Que establece los criterios para clasificar los residuos de manejo especial y determinar cuáles están sujetos a plan de manejo; el listado de los mismos, el procedimiento para la inclusión o exclusión a dicho listado; así como los elementos y procedimientos para la formulación de los planes de manejo. *Diario Oficial de la Federación*; 2013 2013/01/24/.

54. Amaka C, Okeke G, Ndubuisi, Cletus E, Agbakhamen C, Okeke G. Assessing the Effectiveness of International Environmental Agreements in Promoting Sustainable Development and Climate Change Mitigation: A comprehensive Analysis of Global Governance Frameworks. 2025:100–14.

55. Cruzito. Qué es la educación ambiental y por qué es necesaria. *Estudiando*. 2024.

56. Cruzito. Educación Ambiental y Participación Ciudadana. *Estudiando*. 2025.

57. Gasca TG. La importancia de la educación ambiental para la ciudadanía. 2025 2025/10/10.

58. Gutiérrez IM. Participación Ciudadana en la Educación Ambiental. *OLLER2COLEGIOES*. 2024.

59. Moriana L. Cuál es la importancia de la educación ambiental. *Ecologiaverde*. 2023.

60. Nathan N, Hall A, McCarthy N, Sutherland R, Wiggers J, Bauman AE, et al. Multi-strategy intervention increases school implementation and maintenance of a mandatory physical activity policy:



outcomes of a cluster randomised controlled trial. *Br J Sports Med.* 2022;56(7):385–93.

61. Gates B. Why do children die? 2022.

62. Polanec B, Abersek B, Glodež S. Informal Education and Awareness of the Public in the Field of Waste Management. *Procedia - Social and Behavioral Sciences.* 2013;83:107–11.

63. Caled D, Silva MJ. Digital media and misinformation: An outlook on multidisciplinary strategies against manipulation. *Journal of Computational Social Science.* 2022;5(1):123–59.

64. Reza A, Yousuf T. 3R (Reduce, Reuse and Recycle) Action Plan for the City Corporations in Bangladesh: Paradigm shift of Waste Management to Resource Management 2013.

65. Altamirano Rayo G, Mosinger ES, Thaler KM. Statebuilding and indigenous rights implementation: Political incentives, social movement pressure, and autonomy policy in Central America. *World Development.* 2024;175:106468.

66. Research Area: Industrial/Organisational/Work. *International Journal of Psychology.* 2012;47(S1):486–558.

67. Chen H, Yang Y, Jiang W, Song M, Wang Y, Xiang T. Source Separation of Municipal Solid Waste: the Effects of Different Separation Methods and Citizens' Inclination – Case Study of Changsha, China. *Journal of the Air & Waste Management Association.* 2016;67.

68. Lindahl M, Sundin E, Sakao T. Environmental and economic benefits of Integrated Product Service Offerings quantified with real business cases. *Journal of Cleaner Production.* 2014;64:288–96.

69. Nevrlý V, Šomplák R, Smejkalová V, Lipovský T, Jadrný J. Location of Municipal Waste Containers: Trade-off Between Criteria. *Journal of Cleaner Production.* 2020;278:123445.

70. Yu D, Tao Q, Liu Q, Jin Y, Sun Y, Fu P. Lifecycle management of urban renewal enabled by Internet of Things: Development, application, and challenges. *Results in Engineering.* 2025;27:105706.

71. Manea EE, Bumbac C, Dinu LR, Bumbac M, Nicolescu CM. Composting as a Sustainable Solution for Organic Solid Waste Management: Current Practices and Potential Improvements. *Sustainability [Internet].* 2024; 16(15):[6329 p.].

72. Gotowska M, Jakubczak A. Sustainable Biodegradable Waste Management for Circular Economy: Comparative Assessment of Composting Technologies. *Sustainability [Internet].* 2025; 17(20):[8978 p.].



73. Song W, Zhao K. Navigating the innovation policy dilemma: How subnational governments balance expenditure competition pressures and long-term innovation goals. *Heliyon*. 2024;10(15):e34787.
74. Khan I, Haq F, Kiran M, Aziz T. Circular economy and waste management: transforming waste into resources for a sustainable future. *International journal of Environmental Science and Technology*. 2025:1–20.
75. Luca P, Valentinuz G. Social sustainability for health and well-being in port areas: A general framework proposal with a social value approach. *Corporate Social Responsibility and Environmental Management*. 2024;31:6234–45.
76. Behera D, Fathima J, Saady NMC, Zendehboudi S, Albayati TM, Al-nayili A, et al. Sustainable agriculture through environmental adaptation engineering for waste management. *Green Technologies and Sustainability*. 2026;4(1):100242.
77. Slobodníková K, Tóth A. Planning for People with People: Green Infrastructure and Nature-Based Solutions in Participatory Land-Use Planning, Co-Design, and Co-Governance of Green and Open Spaces. *Land [Internet]*. 2025; 14(9):[1801 p.].

