




Organic Waste Management in Hotels in the Province of Lima (Peru). Logistical proposals from a circular economy perspective

Kiara Said Munguía-Guillen¹; Valerie Rojas-Campos¹

Marcos Fernando Ruiz-Ruiz¹; Juan Carlos Quiroz-Flores¹; Marcos Antonio Albarracin-Manrique²

¹Carrera de Ingeniería Industrial, Universidad de Lima, Perú, 20201434@aloe.ulima.edu.pe, 20201835@aloe.ulima.edu.pe
mruiz@ulima.edu.pe, jcquiroz@ulima.edu.pe

²Instituto de Física, Universidade de São Paulo, São Paulo, Brasil, sagret10@usp.br

Abstract– *The objective of this research was to design and validate logistic proposals under a circular economy approach, oriented to optimize the management of organic waste in hotels in the province of Lima. A non-experimental, descriptive and applied design methodology was applied, using industrial engineering tools and structural modeling techniques. Through structural equation analysis (SEM), critical operational variables were identified, such as personnel training, supervision and separation infrastructure, and the significant influence of managerial and municipal actors in decision making was determined. In response to these findings, the application of Failure Mode and Effects Analysis (FMEA) was proposed as a technical mechanism to intervene in critical points in the hotels' internal logistics process. This solution was evaluated for its technical relevance, replicability, and alignment with current regulations. It is concluded that the developed model represents a viable alternative to promote organic valorization from an operational and sustainable perspective in Latin American urban contexts.*

Key words: *circular economy, organic waste management, sustainable logistics, hotel sector, SEM, AMFE.*

Gestión de Residuos Orgánicos en Hoteles de la Provincia de Lima (Perú). Propuestas logísticas desde un enfoque en Economía Circular

Kiara Said Munguía-Guillen¹; Valerie Rojas-Campos¹;

Marcos Fernando Ruiz-Ruiz¹; Juan Carlos Quiroz-Flores¹; Marcos Antonio Albarracin-Manrique²

¹Carrera de Ingeniería Industrial, Universidad de Lima, Perú, 20201434@aloe.ulima.edu.pe, 20201835@aloe.ulima.edu.pe
mruiz@ulima.edu.pe, jcquiroz@ulima.edu.pe

²Instituto de Física, Universidade de São Paulo, São Paulo, Brasil, sagret10@usp.br

Resumen– La presente investigación tuvo como objetivo diseñar y validar propuestas logísticas bajo un enfoque de Economía Circular para optimizar la gestión de residuos orgánicos en hoteles de la provincia de Lima. Se aplicó una metodología no experimental, descriptiva, empleando técnicas de modelación y análisis de ecuaciones estructurales (SEM) para identificar variables críticas, entre ellas la capacitación del personal, los mecanismos de supervisión y la disponibilidad de herramientas y técnicas adecuados para la segregación de residuos. Los resultados evidenciaron la influencia determinante de los actores gerenciales y Municipales en la toma de decisiones. En respuesta, se propuso la aplicación del Análisis Modal de Fallos y Efectos (AMFE) como herramienta para intervenir en los puntos críticos del proceso logístico interno. La solución fue evaluada por su pertinencia técnica, capacidad de replicación y alineación normativa. Se concluye que el modelo desarrollado constituye una alternativa innovadora y viable para impulsar la valorización de residuos orgánicos desde una perspectiva operativa y sostenible en contextos urbanos latinoamericanos.

Palabras clave– economía circular, gestión de residuos orgánicos, logística sostenible, hoteles, SEM, AMFE.

I. INTRODUCCIÓN

El turismo constituye uno de los sectores estratégicos de la economía mundial, ya que en 2024 los viajes y servicios asociados representaron alrededor del 10% del PIB global [1]. Su relevancia también se evidencia en el ámbito laboral, pues cerca del 8,2% de la fuerza de trabajo mundial se encuentra empleada en esta industria. En el caso de Perú, la actividad turística mantiene un peso significativo, ya que el personal vinculado a hoteles y restaurantes concentra aproximadamente el 8% del empleo total nacional [2].

El sector hotelero ocupa un lugar central en la actividad turística y se encuentra cada vez más presionado a responder a las demandas de sostenibilidad. La literatura reciente y los Objetivos de Desarrollo Sostenible de las Naciones Unidas subrayan la necesidad de integrar dimensiones económicas, sociales, ambientales y de gobernanza (ESG) en su gestión. [3] No obstante, pese a su aporte económico y cultural, la hotelería

es altamente vulnerable al cambio climático debido a su elevado consumo de recursos y la inadecuada gestión de residuos, de los cuales la fracción orgánica constituye una significativa proporción de 40%. [4]

En Perú se generan aproximadamente 23,152 toneladas de residuos sólidos por día [5], de los cuales el 57% corresponde a materia orgánica. No obstante, en 2022 solo el 1,8% de estos residuos fue valorizado [6] (revisar Tabla I), mientras que la mayor parte terminó en rellenos sanitarios o fue gestionada de manera inadecuada. En este contexto, y considerando el rol de los hoteles en el desarrollo turístico y económico del país, resulta crucial atender el volumen de desperdicios que producen, especialmente en la preparación de alimentos para servicios como buffets, programas todo incluido y otras modalidades de consumo [7].

La gestión de los residuos orgánicos en este sector depende de condiciones óptimas del entorno y de la implementación de procesos sostenibles que permitan cumplir con la acción de reciclar la materia orgánica, ya que actualmente la proporción de trabajadores capacitados en sostenibilidad y reciclaje es de solo 10%, mientras que un escenario ideal plantea un 40% de personal capacitado como mínimo y el índice de colaboración de los hoteles con las normativas ambientales es apenas de 25%, cuando el óptimo es de 37% [8].

TABLA I. INDICADORES DEL SECTOR PERUANO

| Indicador | Valor | Unidad |
|--|-------|---|
| Porcentaje de residuos orgánicos generados en Perú | 57 | % del total de residuos |
| Porcentaje de residuos orgánicos revalorizados | 1.8 | % del total de residuos aprovechables |
| Porcentaje de trabajadores hoteleros capacitados en Sostenibilidad | 10 | % del personal |
| Porcentaje de residuos que se gestionan informalmente | 84 | % del total de residuos generados en Perú |

Es fundamental desarrollar aplicaciones que promuevan la gestión integral de los residuos y la utilización de tecnologías ecológicas que protejan el medio ambiente. Con base en lo expuesto, este trabajo planteó como eje problemático central la siguiente pregunta de investigación: ¿Qué propuestas logísticas, desde el enfoque de la Economía Circular, se pueden proponer para optimizar la gestión de residuos orgánicos en hoteles de la provincia de Lima?

La gestión de residuos orgánicos en hoteles implica revisar toda la cadena de valor, desde la planificación del menú y la demanda hasta la disposición final (revisar Figura 1). Una mala planificación, almacenamiento inadecuado y control deficiente de inventarios generan desperdicio [9,10]. La capacitación en cocina y la planificación de porciones son clave para reducir excedentes [11]. Servicios como buffets aumentan la generación de residuos [12]. Los hábitos del consumidor también influyen [13]. Finalmente, se debe priorizar el tratamiento y/o reaprovechamiento sostenible sobre vertederos o incineración [14].

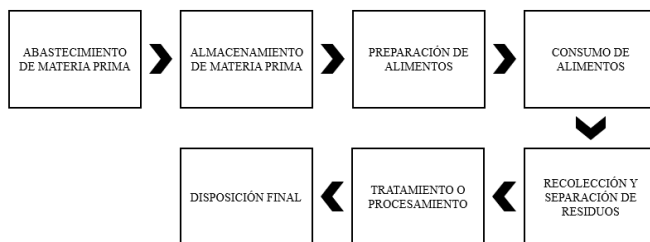


Fig. 1 Cadena productiva de residuos orgánicos en hoteles

En el Perú, la gestión de residuos en empresas, incluidos los hoteles, carece de un proceso estructurado. En uno de los distritos de Lima con alta concentración de hoteles 4 y 5 estrellas, se generan aproximadamente 268.51 kg diarios de residuos sólidos, de los cuales el 71.88% son aprovechables y el 40.97% son orgánicos [15]. Esto sugiere que la cifra total para la provincia de Lima sería significativamente mayor.

Frente a esta realidad, resulta evidente que el Perú aún enfrenta importantes desafíos para avanzar hacia un modelo de

economía circular. A nivel regional, mantiene una brecha técnica del 10% respecto a países como Ecuador, que lidera en Latinoamérica con una tasa de recuperación de residuos del 11.8% [16]. Este indicador incluye métodos de tratamiento que permiten mitigar el impacto ambiental y recuperar valor a través de procesos como el compostaje, la digestión anaerobia, la incineración con recuperación de energía y el reciclaje.

Ante este panorama, la Economía Circular emerge como una alternativa clave para repensar el modelo turístico actual. Su aplicación en el sector se refleja en acciones como el uso de energías limpias, el ahorro de agua, el manejo responsable de residuos y el impulso a productos turísticos sostenibles. También contempla infraestructuras ecoeficientes, movilidad con baja huella de carbono y reutilización de materiales [17].

La adopción de la economía circular en la gestión de residuos orgánicos hoteleros permitiría al Perú reducir su brecha técnica frente a estándares regionales. El sector hotelero peruano aún opera bajo modelos lineales de consumo y desecho, sin contar con sistemas formales para recuperar y reutilizar dichos residuos. Implementar una estrategia circular en esta cadena generaría procesos más eficientes y valor añadido, disminuyendo la dependencia de vertederos.

A través de una revisión bibliográfica complementada con una encuesta intencional aplicada a diez empresarios hoteleros, se detectaron deficiencias técnicas en la gestión de residuos en hoteles peruanos, destacándose la falta de formación en sostenibilidad, estándares de medición de rendimiento definidos, inversión en herramientas o tecnologías de separación en origen, altos costos tecnológicos y una infraestructura inadecuada para la segregación eficiente. Este panorama coincide con casos prácticos en Lima donde hoteles se asocian con empresas socioambientales para valorizar residuos orgánicos y reciclables, produciendo abono y alimentos para ganado, lo cual ejemplifica que la economía circular no sólo mitiga impactos ambientales, sino que también puede cerrar brechas técnicas, mejorar eficiencia operativa y fortalecer la competitividad del turismo nacional en respuesta a exigencias sociales y ambientales crecientes.

II. METODOLOGÍA

Esta investigación fue categorizada como un estudio de caso sectorial de alcance descriptivo y de diseño no experimental, cuya estructura metodológica fue planteada en las cuatro fases consecutivas, cada una destinada a abordar un aspecto específico del estudio. En la primera fase, se priorizó una comprensión holística del entorno y la identificación de variables clave con impacto en la cadena de valor del sector hotelero. Para ello, se llevaron a cabo entrevistas y se aplicó una encuesta estructurada a diez empresarios del rubro. Este proceso permitió identificar catorce causas principales

vinculadas a la problemática central. Posteriormente, estas fueron convertidas en factores analíticos y validadas mediante una estrategia de triangulación que combinó entrevistas semiestructuradas, revisión cruzada de información y el criterio de expertos tanto académicos como del sector empresarial.

Durante la segunda fase, se elaboró la matriz MICMAC (Matriz de Impactos Cruzados Multiplicación Aplicada a una Clasificación) con el fin de examinar la dinámica entre los factores clave previamente identificados. Esta herramienta facilitó el análisis estructural del sistema al clasificar las variables según su nivel de influencia y dependencia. El proceso se desarrolló con la participación de especialistas del sector, quienes colaboraron en sesiones técnicas para establecer las interrelaciones entre los elementos del sistema. Esta etapa permitió organizar las variables de manera coherente y fundamentar las decisiones metodológicas que guiaron el desarrollo de las fases posteriores.

En la tercera fase se aplicó un enfoque de análisis jerárquico para identificar y clasificar a los actores sociales involucrados en el sistema de gestión de residuos orgánicos. Se elaboró un ranking de jerarquía social validado por expertos, con el propósito de analizar los niveles de influencia y dependencia entre los distintos actores. Este procedimiento permitió mapear las relaciones de poder y colaboración dentro del sistema, facilitando una comprensión más profunda del rol de cada stakeholder. La validez del proceso se reforzó mediante una triangulación metodológica que integró la opinión de especialistas, revisión documental y análisis comparativo con estudios previos.

En la cuarta fase, se definieron los indicadores base correspondientes a las variables clave previamente identificadas, los cuales fueron procesados mediante un modelo de ecuaciones estructurales (SEM). Finalmente, con todos los insumos obtenidos y las herramientas aplicadas en las fases anteriores, se elaboró la matriz IGO, que permitió jerarquizar las alternativas formuladas y sustentar la selección de una propuesta viable para su posterior desarrollo.

III. RESULTADOS

La investigación combinó una revisión sistemática de 40 artículos científicos de Scopus y Web of Science con trabajo de campo basado en muestreo intencional y entrevistas a diez empresarios hoteleros. A través de encuestas estructuradas se identificaron causas raíz, transformadas en factores analíticos y validadas mediante triangulación con entrevistas semiestructuradas, análisis cruzado de fuentes y expertos. En total, se identificaron 14 variables clave (revisar Tabla II).

TABLA II. VARIABLES CLAVE PARA EL ESTUDIO

| Variable clave | Etiqueta |
|--|----------|
| Nivel de formación en prácticas y procedimientos sostenibles | V1 |
| Grado de supervisión en el proceso de recolección de residuos | V2 |
| Existencia de estándares e indicadores para la gestión de residuos | V3 |
| Definición de objetivos medioambientales | V4 |
| Nivel de conocimiento sobre mecanismos de tratamiento de residuos | V5 |
| Nivel de inversión en mecanismos de separación de residuos | V6 |
| Complejidad logística en actividades de bajo valor percibido | V7 |
| Costo de tecnologías para el tratamiento de residuos | V8 |
| Actualización y estandarización de prácticas y procedimientos | V9 |
| Adecuación de contenedores para separación de residuos | V10 |
| Diferenciación en la recolección de residuos municipales | V11 |
| Disponibilidad de planes de acción ante imprevistos | V12 |
| Conocimiento sobre procesos eficaces de tratamiento y recolección | V13 |
| Grado de implementación de compostaje interno o externo | V14 |

Para validar la propuesta de solución, se emplearon métodos cualitativos y cuantitativos. Se aplicó el juicio crítico y la triangulación constante de expertos, junto con el modelo de prospección basado en ecuaciones estructurales (SEM). Esta herramienta permitió validar constructos teóricos a partir de datos empíricos, lo cual fue clave para garantizar la coherencia interna del modelo y su adecuación al contexto real de la gestión de residuos orgánicos en hoteles [18].

Posteriormente, se utilizó la matriz MICMAC para analizar las relaciones de motricidad y dependencia entre los factores identificados. Esta herramienta fue aplicada con el apoyo de expertos del sector, quienes arribaron a un consenso sobre las interrelaciones entre variables. A partir de este análisis, se identificaron los indicadores base que servirían como insumos para el modelo de validación. Las variables observables identificadas fueron V1, V2, V3, V4, V6, V10, V11 y V14, destacando entre ellas V1, V4 y V14 por su mayor relevancia en el análisis (revisar Figura 2) Estas variables emergieron del análisis estructural, mientras que las variables latentes fueron definidas según el rol y jerarquía de los actores sociales dentro de la cadena de valor.

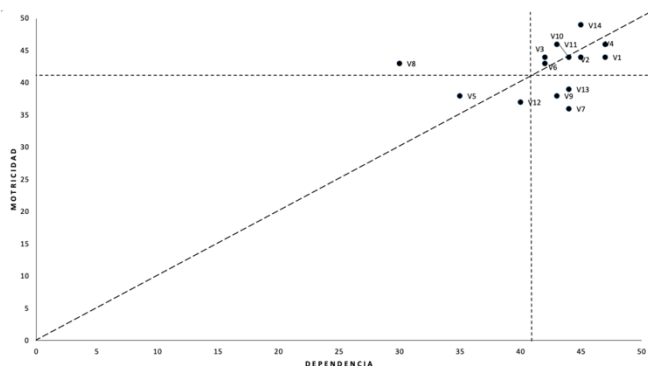


Fig 2. Matriz de motricidad y dependencia MICMAC

Se construyó un ranking de factores para identificar a los actores clave y evaluar los niveles de influencia y dependencia dentro del sistema. El análisis permitió reconocer a los gerentes de hoteles y a las municipalidades como los actores con mayor influencia y baja dependencia, lo que los posiciona como líderes estratégicos en la promoción de prácticas sostenibles. Asimismo, el área de sostenibilidad de los hoteles de cadena fue clasificada como un actor técnico relevante, con alta capacidad de articulación operativa.

Finalmente, las variables observables y latentes fueron organizadas en un diagrama de ecuaciones estructurales. Los gerentes se asociaron a las variables V4, V6, V10 y V14; las municipalidades a la V11; y el área de sostenibilidad a V1, V2 y V3 (revisar Figura 3). Para alimentar el modelo SEM, se utilizaron bases de datos mensuales provenientes del Ministerio del Ambiente (MINAM) y de la Plataforma Nacional de Datos Abiertos (PNDA). El procesamiento de los datos se realizó inicialmente en Google Colab, utilizando el lenguaje de programación Python para el análisis preliminar, y posteriormente en el software R para el desarrollo y ejecución del modelo estructural.

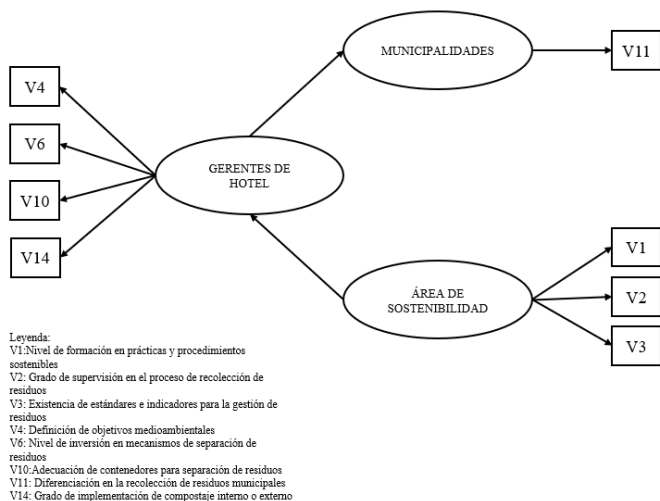


Fig 3. Diagrama de ecuaciones estructurales

En la modelación estructural se definieron regresiones para analizar el grado de dependencia entre los actores sociales e

incorporar covarianzas entre variables observables. El modelo reveló una relación significativa entre el Área de Sostenibilidad y el Gerente del Hotel (coeficiente de 0.547), indicando que una mayor formación del personal, existencia de estándares y supervisión operativa fortalecen la toma de decisiones gerenciales. Asimismo, se evidenció una fuerte influencia de la Municipalidad sobre el gerente (coeficiente de 0.746), lo que resalta su rol clave en la articulación con actores externos para una gestión sostenible.

En cuanto a las covarianzas, se identificó una asociación alta (0.808) entre la formación en sostenibilidad y la definición de objetivos medioambientales, lo que posiciona la capacitación como un factor estratégico. Además, se encontró una covarianza de 0.575 entre la inversión en mecanismos de separación y la adecuación de contenedores, demostrando que destinar recursos a la gestión de residuos mejora directamente las capacidades operativas del hotel.

Con base en los resultados, se formularon propuestas estratégicas dirigidas a gerentes hoteleros y municipalidades, enfocadas en la definición de objetivos ambientales, la mejora de la gestión de residuos orgánicos y la adopción de un enfoque de economía circular. Estas iniciativas buscan fortalecer la competitividad del sector mediante prácticas sostenibles (revisar Tabla III). Para priorizar su implementación, se aplicó la Matriz IGO (revisar Figura 4), herramienta de análisis prospectivo que jerarquiza estrategias según su importancia y gobernabilidad, facilitando la identificación de acciones viables y relevantes en la planificación.

TABLA III. DENOMINACIÓN DE PROPUESTAS ESTRATÉGICAS

| Propuesta estratégica | Etiqueta |
|--|----------|
| Biodigestores anaeróbicos para residuos orgánicos | A |
| Laboratorio circular de reutilización con monitoreo por indicadores (KPIs) | B |
| Análisis Modal de Fallos y Efectos (AMFE) en actividad de separación y acopio | C |
| Plataforma interna de formación circular con tablero de control de objetivos ambientales | D |

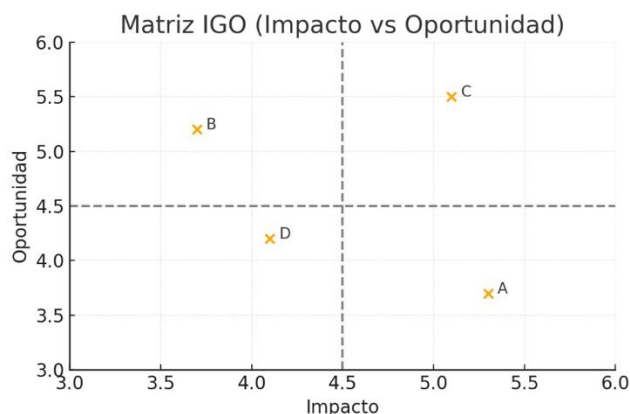


Fig 4. Matriz IGO de oportunidad e impacto

La propuesta denominada C, que contempla la aplicación del Análisis Modal de Fallos y Efectos (AMFE) como instrumento de mejora operativa, alcanzó los puntajes más altos en los tres criterios de evaluación considerados. Esta posición destacada la ubicó dentro del cuadrante estratégico más favorable de la matriz IGO, respaldando su priorización como alternativa idónea para su implementación en establecimientos hoteleros.

IV. DISCUSIÓN

El estudio de la gestión de residuos orgánicos en hoteles de la provincia de Lima, con enfoque en economía circular y la aplicación del Análisis Modal de Fallos y Efectos (AMFE) como herramienta de priorización operativa, se posiciona como una alternativa viable frente a fallos comunes en los procesos internos de separación y acopio. Con el fin de ejemplificar su aplicación práctica, se desarrolló un caso a partir de la información obtenida en diez hoteles de Lima Metropolitana y apoyado en referentes internacionales [19], [20]. El cálculo del Número de Prioridad de Riesgo (RPN) permitió identificar como fallos críticos la mezcla de residuos orgánicos con inorgánicos (RPN = 336) y la ausencia de inducción ambiental para el personal de reciente incorporación (RPN = 294), ambos con valores superiores al umbral de 200. Estos resultados evidencian que los riesgos más significativos no se vinculan de manera exclusiva con la infraestructura disponible, sino principalmente con la falta de protocolos estandarizados y la alta dependencia de factores humanos.

TABLA IV. ANÁLISIS AMFE

| Proceso crítico | Modo de fallo | Efecto | Causa | S | O | D | RPN |
|--------------------------------|-----------------------------------|--|--------------------------------------|---|---|---|-----|
| Separación en cocina | Mezcla de orgánico con inorgánico | Pérdida de valorización, aumento de costos | Falta de capacitación y señalización | 8 | 7 | 6 | 336 |
| Recolección interna | Retraso en traslado al acopio | Olores, lixiviados, riesgo sanitario | Deficiencia en cronograma | 7 | 6 | 5 | 210 |
| Almacenamiento temporal | Exceso en contenedor | Riesgo sanitario, vectores | Capacidad insuficiente | 9 | 5 | 6 | 270 |
| Supervisión | Omisión en control de segregación | Contaminación del reciclaje | Falta de checklist | 8 | 4 | 7 | 224 |
| Capacitación de nuevo personal | Ingreso sin inducción ambiental | Fallos recurrentes | Ausencia de protocolo de inducción | 7 | 7 | 6 | 294 |

El contraste con iniciativas internacionales permite enriquecer estos hallazgos. En Canadá, documentaron que el fortalecimiento de la logística interna y el monitoreo técnico permanente elevaron significativamente las tasas de valorización orgánica en hoteles y servicios de alimentación [21]. En Europa, identificaron RPN críticos de hasta 225 en procesos de almacenamiento y distribución [19], mientras que en Asia, reportaron riesgos superiores a 190 en pymes de procesamiento alimentario [20]. Aunque los valores observados en Lima son más altos, la convergencia radica en que los fallos más críticos se concentran en la manipulación inicial y la capacitación del personal. La divergencia principal se observa frente a Canadá: mientras allí la atención se centra en perfeccionar la trazabilidad y la recolección avanzada, en Lima aún persisten brechas básicas de segregación y supervisión. Esta comparación confirma que las lecciones internacionales son transferibles, pero requieren adaptación a la madurez operativa local.

Por su parte, el enfoque basado en AMFE se diferencia de estrategias que solo actúan sobre etapas específicas del ciclo, como la reducción del desperdicio en buffets [22] o el aprovechamiento posconsumo mediante tecnologías de valorización [23]; dicho enfoque se orienta hacia la prevención de fallos en la fuente. Esto permite articular al área de sostenibilidad con la gestión operativa a partir de datos de riesgo priorizado. Un caso particular ha demostrado su utilidad en la mejora de la trazabilidad y la eficiencia interna [24]. La decisión de priorizar esta herramienta se sustentó en los resultados del modelo SEM, donde se validó que las decisiones del gerente están influenciadas por el área de sostenibilidad y la presión normativa municipal, siendo estas dimensiones directamente abordadas mediante el AMFE [25][26].

Una fortaleza distintiva de la propuesta radica en su enfoque integral y su capacidad de escalabilidad operativa. A diferencia de intervenciones aisladas que actúan sobre etapas puntuales del ciclo de residuos, esta herramienta permite mapear fallos operativos frecuentes y priorizar acciones correctivas mediante el cálculo del (RPN), generando indicadores clave como tasa de errores por tipo de residuo y puntos críticos de acumulación [24][9]. Asimismo, se resalta su alto impacto positivo a nivel ambiental, lo que refuerza su

aplicabilidad en contextos urbanos comparables. Esta propuesta se alinea con el marco normativo vigente (Ley N.º 1278) y presenta potencial para articular esfuerzos entre actores públicos y privados [27][28].

Finalmente, se trata de una propuesta con alto grado de escalabilidad gracias a su diseño modular y colaborativo, lo que le permite adaptarse a diferentes tipologías hoteleras y escenarios urbanos. Su aplicación no solo responde a una necesidad técnica puntual, sino que representa un cambio de enfoque hacia una sostenibilidad operativa efectiva, con impactos directos en la eficiencia logística y la gobernanza de residuos.

FLUJO PRE-IMPLEMENTACIÓN DE LA PROPUESTA DE SOLUCIÓN

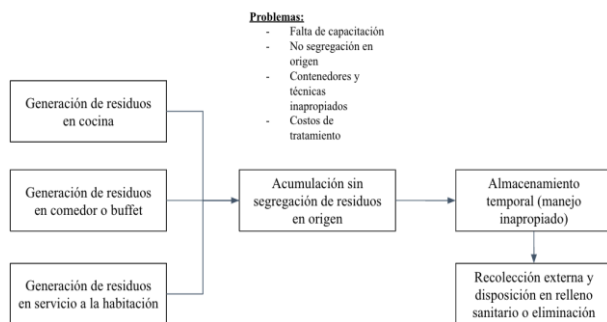


Fig 5. Flujo del proceso pre-implementación

FLUJO POST-IMPLEMENTACIÓN DE LA PROPUESTA DE SOLUCIÓN

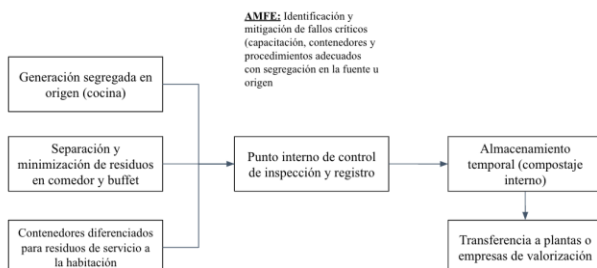


Fig 6. Flujo del proceso pre-implementación

V. CONCLUSIONES

Se ha comprobado la importancia estratégica de los hoteles como actores clave en la gestión de residuos orgánicos, tanto por su volumen de generación como por su capacidad para articularse con municipalidades, proveedores y empresas valorizadoras. Este hallazgo evidencia la necesidad de fortalecer sus capacidades internas mediante intervenciones técnicas orientadas a la formación del personal, mejora de infraestructura y supervisión de procesos. En ese marco, el uso de herramientas ingenieriles como el Análisis Modal de Fallos y Efectos (AMFE) se presenta como una alternativa eficaz para identificar y priorizar puntos críticos en la cadena operativa,

contribuyendo así a mejorar el desempeño ambiental y logístico del sector.

Desde un enfoque de economía circular, la correcta segregación y trazabilidad de los residuos orgánicos permite su valorización a través de procesos como el compostaje o la biodigestión. Esto no solo reduce la carga ambiental, sino que abre nuevas oportunidades de generación de valor agregado. La propuesta formulada promueve un modelo de sostenibilidad que, además de mejorar la eficiencia interna de los hoteles, puede incrementar su rentabilidad al disminuir costos de disposición final y fomentar alianzas estratégicas dentro de la cadena verde. Con ello, los hoteles dejan de ser considerados como pasivos ambientales para convertirse en agentes activos del ecosistema urbano.

Desde la perspectiva de la ingeniería industrial, el estudio aporta un modelo metodológico replicable, práctico y validado, aplicable a procesos de mejora en contextos urbanos. La integración del AMFE con herramientas como la matriz IGO permite evaluar con mayor precisión la viabilidad técnica, económica y social de distintas alternativas de intervención, resaltando además su alto impacto ambiental positivo.

El análisis mediante ecuaciones estructurales permitió identificar las variables más influyentes en la toma de decisiones organizacionales. Se encontró que el liderazgo del área de sostenibilidad y el cumplimiento de normativas municipales son factores determinantes, al igual que aspectos operativos como la capacitación del personal y la infraestructura disponible. Estos hallazgos respaldan la elección del AMFE como herramienta idónea para intervenir directamente sobre dichos puntos críticos, proporcionando soluciones técnicas basadas en evidencia empírica.

Finalmente, uno de los aportes más relevantes del estudio es la propuesta de un enfoque flexible y escalable que no se limita al cumplimiento normativo, sino que impulsa una cultura organizacional orientada a la prevención y la mejora continua. Si bien se identificaron limitaciones relacionadas con la disponibilidad de datos operativos y la heterogeneidad de procesos entre hoteles, el modelo propuesto tiene un alto potencial de transferencia. En particular, la incorporación de tecnologías de trazabilidad en tiempo real, como sensores IoT instalados en contenedores de residuos, ofrece una línea de desarrollo clave. Estas herramientas permitirían monitorear en línea la generación y el llenado, emitir alertas cuando se superan umbrales críticos y alimentar plataformas digitales de gestión ambiental. Al integrarse con el AMFE, dichos datos facilitarían el cálculo dinámico de los indicadores de riesgo (RPN) y el seguimiento continuo de los puntos críticos, fortaleciendo la capacidad de prevención, reduciendo la incertidumbre operativa y mejorando la transparencia de los procesos.

Futuros estudios podrían explorar su aplicación en otros segmentos del turismo urbano o incorporar tecnologías de trazabilidad en tiempo real. En un contexto donde muchas ciudades latinoamericanas comparten desafíos logísticos y normativos similares, esta propuesta representa una herramienta técnica aplicable a políticas públicas regionales en el marco de la economía circular.

REFERENCIAS

- [1] World Travel & Tourism Council (WTTC), "Economic Impact," (2024). <https://wtcc.org/research/economic-impact>
- [2] International Labour Organization (ILO), "Tracking the rebound in tourism employment," (2023). <https://ilostat.ilo.org/tracking-the-rebound-in-tourism-employment>
- [3] Moreno-Gil, J., Picazo-Tadeo, R. et al., "Integrating sustainability in tourism development," *Journal of Sustainable Tourism*, vol. 28, no. 11, (2020). doi:10.1080/09669582.2020.1775621
- [4] Leanpio, "Reciclaje en hoteles". (2023). <https://www.leanpio.com/es/blog/reciclaje-en-hoteles>
- [5] Ministerio del Ambiente (MINAM), "Más de 148 500 toneladas de residuos sólidos municipales son valorizados en el país". (2023). <https://www.gob.pe/institucion/minam/noticias/955458-mas-de-148-500-toneladas-de-residuos-solidos-municipales-son-valorizados-en-el-pais>
- [6] Ministerio de Economía y Finanzas (MEF), "Indicador 3.2". (2023). https://www.mef.gob.pe/contenidos/presu_publico/mi/Indicador_3_2.pdf
- [7] Ministerio del Ambiente (MINAM). (2023). *Boletín de residuos sólidos municipales del Perú*. <https://www.datosabiertos.gob.pe/dataset/residuos-solidos>
- [8] Ministerio del Ambiente (MINAM) (2021). *Hoja de ruta hacia una economía circular al 2050*. <https://www.minam.gob.pe/economiacircular/hoja-de-ruta/>
- [9] Filimonau, V., & De Coteau, D. A. (2019). Food waste management in hospitality operations. *Tourism Management*, 71, 234–245. <https://doi.org/10.1016/j.tourman.2018.10.009>
- [10] Antonschmidt, H., & Lund-Durlacher, D. (2021). Stimulating food waste reduction behaviour among hotel guests. *Journal of Cleaner Production*, 329, 129709. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.129709>
- [11] Basso, R., Sullivan, N., & Ordoñez, R. (2020). El desperdicio de alimentos en el menú de la reconstrucción. *IDB Invest*. <https://tinyurl.com/yc4z93uw>
- [12] Afzal, N., Ali, M., Shakir, H., & Mehmood, T. (2023). Food waste and efficiency in hotel kitchens: A case from Lahore. *Journal of Hospitality Sustainability*, 13(2). <https://journals.sfu.ca/jhs/index.php/jhs/article/view/201>
- [13] Alexander, C., Dubois, M., Ahmad, S., & Jahangir, N. (2023). Food and organic waste diversion in industrial, commercial, and institutional sectors. *Cleaner Waste Systems*, 6, 100120. <https://doi.org/10.1016/j.clwas.2023.100120>
- [14] Pérez, V. (2022). *Percepciones del consumidor en relación con el desperdicio de alimentos* [Tesis de licenciatura, Universidad Autónoma de México]. <https://repositorio.unam.mx/contenidos/percepciones-del-consumidor-en-relacion-con-el-desperdicio-de-alimentos-366339>
- [15] Alonso, A., Fernández, R. I., & Tiempo, S. (2023). Separación de residuos en el sector hotelero: Un caso de estudio en Cancún. *Latinoamericana Ogmios*, 3(8), 16–42. <https://doi.org/10.53595/rlo.v3.i8.071>
- [16] Statista, "Tasa de recuperación de residuos en América Latina". (2023). <https://es.statista.com/grafico/34176/tasa-de-recuperacion-de-residuos-en-america-latina>
- [17] Gálvez, E. M., Garaicoa, F. L., y Barros, C. D., "Economía circular en cadenas turísticas: Un enfoque hacia la sostenibilidad del sector," *LATAM Revista Latinoamericana de Ciencias Sociales y Humanidades*, vol. 5, no. 6, pp. 1513-1522, (2024). doi:10.56712/latam.v5i6.3101
- [18] Poyoi, P., Gassiot Melian, A. y Coromina, L., "The role of local food in tourists' behavior: a structural equation modelling approach," *Journal of Tourism Analysis: Revista de Análisis Turístico*, vol. 29, no. 2. (2022). doi:10.53596/jta.v29i2.425
- [19] Kontogeorgos, A., et al. (2021). Implementation of Food Safety Management Systems along with Other Management Tools (HAZOP, FMEA, Ishikawa, Pareto). *Foods*, 10(9), 2169. <https://www.mdpi.com/2304-8158/10/9/2169>
- [20] Farida, A., et al. (2021). Risk analysis of production process for food SMEs using FMEA method. *E3S Web of Conferences*, 328, 02010. https://www.e3s-conferences.org/articles/e3sconf/abs/2021/107/e3sconf_icdmm2021_02010/e3sconf_icdmm2021_02010.html
- [21] Alexander, M., Yates, K., & Henry, R. (2023). *Optimizing internal logistics for organic waste valorization: Lessons from Canada*. *Journal of Environmental Systems*, 45(2), 134–148. <https://tinyurl.com/yv3z8cce>
- [22] Dolnicar, S., Grün, B., & Leisch, F. (2020). *Reducing buffet food waste through behavioral intervention*. *Journal of Sustainable Tourism*, 28(3), 422–439. <https://tinyurl.com/2p9yhf4e>
- [23] Srivastava, S., & Balakrishnan, R. (2022). *Post-consumption valorization technologies in the hospitality sector: A circular approach*. *Waste and Biomass Valorization*, 13(5), 1421–1435. <https://tinyurl.com/2p8nvymw>
- [24] Briolotti, J. (2022). *Mejora de la trazabilidad interna en hoteles mediante AMFE y sistemas de alerta temprana*. *Revista de Logística y Sostenibilidad*, 7(4), 65–77. <https://tinyurl.com/3nkmmnzn>
- [25] González-Fernández, M., Aguilar, C., & Esquivel, L. (2020). *Gestión estratégica en hoteles y sostenibilidad operativa: Aplicación de SEM*. *Revista de Ciencias Ambientales*, 54(3), 211–225. <https://tinyurl.com/2s3bsjdx>
- [26] Zúñiga-Rojas, J., & Fallas-Vargas, M. (2021). *Presión normativa y decisiones operativas en hoteles sostenibles: Un estudio en Lima Metropolitana*. *Revista de Regulación Ambiental*, 9(2), 89–102. <https://tinyurl.com/54myptja>
- [27] ComexPerú. (2022). *Iniciativas público-privadas para la gestión sostenible de residuos sólidos*. <https://tinyurl.com/2p9cbepb>
- [28] Rodríguez Peralta, G., Mendoza, R., & Iparraguirre, T. (2022). *Colaboración multiactor en políticas ambientales municipales: Avances y retos en Lima Metropolitana*. *Revista de Políticas Urbanas*, 11(2), 144–159. <https://tinyurl.com/5eey6ub>