

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA



Maestría en Ciberseguridad

**Informe de Investigación previo a la obtención del título de Magíster en
Ciberseguridad**

Tema: Amenazas de seguridad asociadas con la integración de inteligencia artificial en sistemas de compostaje automatizado.

Autor: Ing. José Xavier Castillo Naula

Asesores: Ing. Juan Carlos Cobos Torres. Ph.D.

Cuenca, 2025

Certificación de Asesores

Se certifica que:

El informe de investigación “Amenazas de seguridad asociadas con la integración de inteligencia artificial en sistemas de compostaje automatizado”, de autoría del Señor Ingeniero de Tecnologías de la Información José Xavier Castillo Naula, CC: 0106552995, ecuatoriano, previo a la obtención del Título de Cuarto Nivel o Posgrado correspondiente a Magíster en Ciberseguridad, cumple con la caracterización y estructura (parte protocolaria y parte expositiva) y se sujeta a la normativa pertinente exigida por el Consejo de Educación Superior, CES y la Universidad Católica de Cuenca, en consecuencia se autoriza su presentación para los trámites pertinentes.

Santa Ana de los Cuatro Ríos de Cuenca

Enero, 2025

Ing. Juan Carlos Cobos Torres, PhD.

Asesor Científico y Metodológico

Certificación de Autoría

Certifico que:

“Amenazas de seguridad asociadas con la integración de inteligencia artificial en sistemas de compostaje automatizado”, es el tema del informe final de investigación de mi AUTORÍA, previo a la obtención del Título de Cuarto Nivel o Posgrado correspondiente a Magíster en Ciberseguridad, por lo que, asumo su originalidad y el uso de fuentes de terceros registrados según las normas APA vigentes.

Santa Ana de los Cuatro Ríos de Cuenca

Enero, 2025.

Ing. José Xavier Castillo Naula

CC: 0106552995

Agradecimiento

Quiero agradecer primero a Dios por guiarme en este camino. A mis padres, por darme la vida y enseñarme el valor del esfuerzo; a mi esposa e hijos, por su apoyo incondicional en cada paso de este proceso. Finalmente, expreso mi sincero agradecimiento a mis tutores y docentes, quienes me guiaron y orientaron en la elaboración de esta investigación. Sin todos ellos este trabajo no hubiera sido posible.

Dedicatoria

Dedico este trabajo a mis hijos Martín y Emilia y a mi esposa Bernarda, quienes son el motor y la razón por la que sigo adelante cada día. Su amor y alegría me inspiran constantemente. Todo mi amor para ustedes.

Resumen

La integración de la inteligencia artificial (IA) en sistemas de compostaje automatizados ha demostrado un gran potencial para optimizar los procesos, mejorar la eficiencia y reducir los tiempos y costos de producción. No obstante, esta incorporación también conlleva una serie de amenazas y riesgos que requieren atención y vigilancia constante.

El presente estudio se centra en realizar una revisión sistemática sobre las amenazas de seguridad asociadas con la implementación de IA en sistemas de compostaje automatizado. Utilizando la metodología PRISMA y un enfoque descriptivo cualitativo, se revisaron 719 artículos, de los cuales se seleccionaron 66 basados en criterios de inclusión y exclusión, con el fin de obtener información relevante.

Los resultados indican que la inteligencia artificial (IA), mediante técnicas como redes neuronales y aprendizaje automático, optimiza el proceso de compostaje, mejora la gestión de residuos y permite un monitoreo preciso en tiempo real. No obstante, hasta la fecha de este estudio, no se han encontrado investigaciones que identifiquen riesgos concretos asociados con la implementación de la IA en este ámbito. A pesar de que la IA ha mejorado significativamente el proceso de compostaje, la ausencia de un análisis exhaustivo sobre los riesgos puede dejar a las organizaciones vulnerables a diversas amenazas.

Palabras claves: Compostaje, inteligencia artificial, machine learning, amenazas, vulnerabilidades.

Abstract

The integration of artificial intelligence (AI) into automated composting systems has shown great potential to optimize processes, improve efficiency, and reduce production times and costs. However, this incorporation also brings a series of threats and risks that require attention and constant monitoring.

This study focuses on conducting a systematic review of the security threats associated with the implementation of AI in automated composting systems. Using the PRISMA methodology and a qualitative descriptive approach, 719 articles were reviewed, of which 66 were selected based on inclusion and exclusion criteria to obtain relevant information.

The results indicate that artificial intelligence (AI), through techniques such as neural networks and machine learning, optimizes the composting process, enhances waste management, and allows for precise real-time monitoring. However, as of the date of this study, no research has been found that identifies specific risks associated with the implementation of AI in this field. Despite the significant improvements AI has brought to the composting process, the lack of a thorough analysis of the risks may leave organizations vulnerable to various threats.

Keywords: Composting, artificial intelligence, machine learning, threats, vulnerabilities.

Índice de contenidos

Capítulo I. Introducción	1
1.1. Situación problemática	1
1.2. Problema Científico	2
1.3. Línea de investigación.....	3
1.4. Objeto de estudio.....	4
1.5. Campo de acción	4
1.6. Objetivo general.....	5
1.7. Objetivos específicos	5
1.8. Hipótesis.....	6
1.9. Variables	6
1.10. Justificación	6
1.11. Estado del arte.....	7
1.11.1. Amenazas en Sistemas de Inteligencia Artificial (IA).....	8
1.11.2. Automatización en sistemas de compostaje.....	9
1.11.3. Ciberseguridad en Sistemas de Internet de las Cosas (IoT).....	10
1.11.4. Inteligencia artificial como herramienta para el compostaje.....	11
1.12. Fundamentación teórica	11
1.12.1. Inteligencia Artificial	11
1.12.2. Uso de la IA.....	12
1.12.3. Principales áreas y aplicaciones	12
1.12.4. Sistemas de compostaje automatizado.....	14
1.12.5. Amenazas de seguridad en sistemas de compostaje automatizado	16
Capítulo II. Diagnóstico situacional	18
2.1. Metodología	18
2.1.1. Planeación.....	19
2.1.2. Búsqueda de literatura.....	20
2.1.3. Selección de estudios	21
2.1.4. Evaluación de la calidad	22
2.1.5. Extracción y análisis de datos.....	24
Capítulo III. Propuesta.....	25
3.1. Selección de artículos	25
3.2. Planificación y clasificación de la información	26

3.3. Nivel de evaluación de los artículos seleccionados	28
3.4. Red bibliométrica	29
3.5. Síntesis de la información	32
3.6. Discusión	34
Conclusiones	39
Recomendaciones	42
Bibliografía:.....	43

Índice de figuras

Figura 1: Metodología desarrollada para la síntesis de los artículos científicos.....	19
Figura 2: Bases de datos científicas seleccionadas.....	21
Figura 3: Criterios de exclusión e inclusión.....	23
Figura 4: Evaluación de artículos.....	27
Figura 5: Datos estadísticos de la ponderación de los artículos.....	28
Figura 6: Red Bibliométrica de los metadatos de las bases de datos.....	29
Figura 7: Red de visualización.....	30
Figura 8: Densidad gráfica de co-ocurrencia.....	31

Índice de tablas

Tabla 1: Línea de investigación	3
Tabla 2: Palabras clave para búsqueda en las bases de datos	22
Tabla 3: Total de estudios encontrados y seleccionados	25

Capítulo I. Introducción

1.1.Situación problemática

El tratamiento de residuos orgánicos es un problema creciente a nivel mundial, pues existen países produciendo volúmenes masivos de estos desechos que no se tratan adecuadamente. España, por ejemplo, generó aproximadamente 22 millones de toneladas de residuos en 2020, y más de la mitad de estos residuos fueron enviados a vertederos (Rodríguez, 2023), sin aprovechar su potencial para la creación de compost y la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero. Esta situación pone de manifiesto la necesidad de soluciones innovadoras para la gestión de residuos orgánicos.

El compostaje es el proceso mediante el cual, se transforma desechos orgánicos en fertilizantes de alto valor nutritivo para los cultivos (Jaramillo, 2023), es fundamental para la sostenibilidad ambiental y la reactivación de suelos. Sin embargo, su ejecución tradicional es compleja y demandante en tiempo y esfuerzo. La integración de la inteligencia artificial (IA) en los sistemas de compostaje emerge como una solución prometedora, optimizando el proceso y reduciendo el tiempo de compostaje de meses a días (Tortosa, 2023).

La IA, a través de sensores, aplicaciones y dispositivos basados en IoT, permite controlar y manipular variables como la temperatura, la humedad y el oxígeno, generando datos en tiempo real sobre el proceso. Esta tecnología ha impulsado el desarrollo de contenedores de compostaje automatizados, como el de la empresa colombiana Urbanatika, que reduce el tiempo de procesamiento de la materia orgánica a fertilizantes, de meses a 5 días (Diario Sustentable, 2017). A pesar de los beneficios que ofrece la integración de la inteligencia artificial, también surgen amenazas que pueden perjudicar el proceso de compostaje. Es por ello que la presente

investigación, al ser una síntesis de información, propone dar respuesta a las siguientes preguntas:

Q1 ¿Cuáles son las principales amenazas para la seguridad asociadas a la integración de la inteligencia artificial (IA) en los sistemas automatizados de compostaje y qué repercusiones tienen?

Q2 ¿Qué tecnologías de inteligencia artificial (aprendizaje automático, redes neuronales, algoritmos predictivos) son las que se están utilizando actualmente para la automatización del compostaje y por qué?

Q3 ¿Cuáles son las ventajas de integrar la inteligencia artificial en los sistemas de compostaje en comparación con los métodos tradicionales?

Q4 ¿Qué tipos de datos son necesarios para entrenar los algoritmos de IA en sistemas de compostaje y cómo se utilizan estos datos?

1.2.Problema Científico

La integración de la IA en los sistemas de compostaje presenta desafíos de seguridad. El uso de elementos tecnológicos y la conexión de estos sistemas a la red mediante IoT, los vuelve susceptibles a ataques tanto físicos como cibernéticos, que deben ser identificados y comprendidos para garantizar la seguridad del proceso y la integridad de los datos.

Para abordar este problema, se propuso realizar una revisión sistemática sobre las amenazas de seguridad asociadas con la integración de la IA en los sistemas de compostaje automatizado. Esta investigación, de tipo descriptiva y cualitativa, utilizó el método PRISMA para asegurar la exhaustividad y rigor del análisis, en donde primero se formularon preguntas de investigación que permitieron responder al problema de las amenazas de seguridad en este contexto.

Seguidamente, se realizó búsquedas exhaustivas en múltiples bases de datos científicas. Con esta información, se realizó una selección de los estudios por pertinencia, calidad y antigüedad.

Se procedió a la extracción de datos para recopilar información relevante de los estudios incluidos. Nuevamente, se volvió a evaluar la calidad de los estudios, para finalmente analizar y sintetizar los datos para la presentación y discusión de los resultados.

1.3.Línea de investigación

Tabla 1

Línea de investigación

Tipo de línea	Líneas de investigación institucionales	Sub Línea	
En desarrollo	Energía eléctrica y Tecnologías de la Información para la innovación y el desarrollo sostenible	Ciencia de los ordenadores, analítica de datos y algoritmos computacionales	☒
		Sistemas eléctricos de potencia, energía e iluminación	☐
		Modelado, automatización y control	☐

Nota. Imagen tabla tomada de la Universidad Católica de Cuenca

El presente trabajo de investigación se centró en identificar las amenazas de seguridad que pueden surgir al integrar la inteligencia artificial en los sistemas de compostaje automatizado. El objetivo fue proporcionar una base sólida para futuras investigaciones que puedan proponer soluciones a los problemas identificados. De esta manera, se puede salvaguardar la confidencialidad, integridad y disponibilidad de la información dentro de estos sistemas.

1.4.Objeto de estudio

En los últimos años, la integración de la inteligencia artificial (IA) en diversos procesos industriales ha permitido automatizar y optimizar múltiples tareas. Sin embargo, esta incorporación también conlleva riesgos de seguridad que deben ser identificados y mitigados, especialmente en sistemas críticos como los de compostaje automatizado.

Esta investigación planteó como objeto de estudio, abordar las amenazas de seguridad inherentes a la integración de inteligencia artificial en sistemas de compostaje automatizado. Este campo emergente enfrenta desafíos significativos debido a la interconexión de dispositivos inteligentes y la gestión automatizada de residuos orgánicos. Se buscó identificar y analizar posibles vulnerabilidades, tanto técnicas como operativas, que podrían comprometer la integridad y la eficiencia de estos sistemas.

A partir de este estudio, se podrían desarrollar estrategias y protocolos de seguridad robustos que permitan aprovechar los beneficios de la IA en estos sistemas, minimizando los riesgos asociados. De esta manera, se contribuye a la adopción segura de tecnologías avanzadas en la industria del compostaje.

1.5.Campo de acción

El presente estudio se enfocó específicamente en las amenazas de seguridad asociadas con la integración de inteligencia artificial (IA) en sistemas de compostaje automatizado. Este campo de acción abarca los desafíos de seguridad que pueden surgir cuando se incorpora tecnología de IA en procesos de compostaje que han sido automatizados. Es decir, el alcance de la investigación se limitó a los riesgos de seguridad de la información, como vulnerabilidades, ataques cibernéticos, filtraciones de datos, fallas de integridad y disponibilidad, que pueden presentarse al utilizar soluciones de IA para optimizar y tomar decisiones en los sistemas de

compostaje automatizados. Esta revisión permite establecer un marco de referencia para desarrollar estrategias efectivas de mitigación y asegurar una implementación segura de IA en el ámbito del compostaje automatizado.

1.6.Objetivo general

Realizar una revisión de las principales amenazas de seguridad asociadas a la integración de inteligencia artificial (IA) en sistemas de compostaje automatizado, mediante el método PRISMA, comprendiendo la naturaleza y alcance de las amenazas de seguridad en este contexto.

1.7.Objetivos específicos

Fortalecer los conceptos que se presentan en la integración de los sistemas de IA utilizados para el monitoreo y control de los procesos de compostaje automatizado, mediante una revisión exhaustiva en repositorios científicos y bibliotecas digitales obteniendo información de calidad y actualizada.

Clasificar los artículos científicos que abordan las amenazas de seguridad asociadas a la integración de IA en sistemas de compostaje automatizado, mediante una categorización y análisis de la pertinencia, calidad y antigüedad de los artículos, obteniendo una primera selección de artículos relevantes que sirvan como base para el análisis de las amenazas de seguridad.

Evaluar la calidad de los artículos científicos seleccionados, asegurando la confiabilidad de la información recopilada, utilizando herramientas y escalas de evaluación de la calidad de la investigación, considerando aspectos como el diseño del estudio, el tamaño de la muestra, entre otros, garantizando que la información utilizada para la revisión sistemática sea de alta calidad y permita obtener conclusiones sólidas y confiables.

Presentar de forma clara y concisa los resultados de la revisión sistemática sobre las amenazas de seguridad en sistemas de compostaje automatizado con IA utilizando tablas, gráficos y otros recursos visuales sistematizando de manera efectiva la información recopilada.

1.8.Hipótesis

La integración de sistemas de IA en procesos de compostaje automatizado introduce nuevas vulnerabilidades y amenazas de seguridad que no se encuentran en sistemas tradicionales de compostaje.

1.9.Variables

Dado que la presente investigación se enfocó en una revisión sistemática de la literatura sobre las amenazas de seguridad asociadas a la integración de inteligencia artificial (IA) en sistemas de compostaje automatizado, no se empleó variables en el sentido tradicional de los estudios empíricos, pues no se realizó experimentos, encuestas o recopilación de datos primarios. En su lugar, se llevó a cabo un análisis exhaustivo de la evidencia y la información disponible en publicaciones académicas, informes técnicos y artículos de investigación. El método PRISMA permitió estructurar y sintetizar los hallazgos de los estudios revisados para identificar y comprender las principales amenazas de seguridad. De esta manera, se pudo comprender la naturaleza y el alcance de las amenazas de seguridad en este contexto específico, sin la necesidad de utilizar variables como parte de la metodología.

1.10. Justificación

La integración de inteligencia artificial (IA) en sistemas de compostaje automatizado ofrece la posibilidad de incrementar la eficiencia y la efectividad de este proceso esencial para la gestión sustentable de desechos orgánicos. Los modelos matemáticos son fundamentales para optimizar el compostaje aeróbico, especialmente para maximizar la calidad del compost y evaluar su

viabilidad económica Haga clic o pulse aquí para escribir texto. Sin embargo, esta innovación también conlleva potenciales amenazas de seguridad que deben ser analizadas y mitigadas. El auge del IoT incrementa vulnerabilidades, pues fabricantes priorizan soluciones sobre seguridad (Patiño David et al., 2021). Los sistemas basados en inteligencia artificial suelen ser vulnerables a diversas amenazas de seguridad a lo largo de todo su proceso de implementación (Hu et al., 2021). Esta investigación ayuda a identificar los riesgos que se generan dentro de este contexto, como las amenazas, vulnerabilidades cibernéticas y la posibilidad de manipulación maliciosa. La comprensión de los desafíos de seguridad asociados con la convergencia entre IA y sistemas de infraestructura involucrados dentro del procesos de compost, servirán de guía para posteriores investigaciones que se centren en el tratamiento de las vulnerabilidades y amenazas encontradas, lo cual es fundamental para facilitar la adopción segura y responsable de esta tecnología emergente.

1.11. Estado del arte

En la era moderna, la integración de tecnologías avanzadas ha revolucionado múltiples sectores industriales, y el compostaje automatizado no es una excepción. La introducción de IA en sistemas de compostaje automatizado no solo promete mejorar la eficiencia y la calidad del proceso, sino que también optimiza el manejo de residuos orgánicos y fomenta prácticas de reciclaje sostenibles. La capacidad de la IA para monitorear y ajustar variables ambientales en tiempo real ofrece beneficios tangibles, como la reducción de costos operativos y la mejora en la calidad del producto final. No obstante, este avance tecnológico conlleva riesgos inherentes que deben ser cuidadosamente gestionados para garantizar la seguridad tanto de los procesos como de los datos involucrados.

1.11.1. Amenazas en Sistemas de Inteligencia Artificial (IA)

Según (Franganillo, 2022) los sistemas de IA han experimentado un crecimiento exponencial en los últimos años, convirtiéndose en una parte integral de la vida cotidiana. Desde generadores de texto hasta asistentes virtuales, la IA ha transformado la forma en que interactuamos con la tecnología. Sin embargo, junto con estos avances, también han surgido preocupaciones sobre las vulnerabilidades inherentes a estos sistemas. Una de las principales amenazas es el sesgo presente en los datos utilizados para entrenar los modelos de IA que pueden estar relacionados con factores como raza, género o clase social, pueden llevar a resultados discriminatorios o imprecisos, lo que puede tener graves consecuencias en áreas como la salud, la justicia y la toma de decisiones (Ortiz de Zárate Alcarazo, 2023).

Además de los sesgos en los datos, los sistemas de IA también enfrentan amenazas de seguridad cibernética. Según (Pulido, 2023), la inteligencia artificial puede imitar la identidad y el estilo de escritura de las personas, mejorando así el phishing y otros fraudes en línea. Los modelos de IA pueden ser vulnerables a técnicas de ataque como el envenenamiento de datos, donde los delincuentes introducen información maliciosa en los conjuntos de entrenamiento, o los ataques de evasión, en los que se modifican las entradas para evadir la detección. De acuerdo con (Ayerbe, 2020), la inteligencia artificial puede utilizarse para facilitar el quebrantamiento de la seguridad, la evasión de detección, la adaptación a contramedidas y la recopilación automatizada de información, así como la generación de contenido falso. Estos ataques pueden comprometer la integridad y la confiabilidad de los sistemas de IA, lo que puede tener implicaciones significativas en la toma de decisiones y la confianza de los usuarios. La comunidad académica y la industria han trabajado arduamente para desarrollar estrategias de

mitigación, como la auditoría de modelos, el monitoreo de seguridad y el desarrollo de técnicas de aprendizaje robusto (Chavez Flores et al., 2023).

1.11.2. Automatización en sistemas de compostaje

El compostaje es un proceso fundamental para la gestión de residuos orgánicos y la producción de abono natural. Desempeña un papel crucial en la transición hacia una conservación más sostenible del medio ambiente. Según (Valverde, 2015), el proceso de compostaje es una descomposición aeróbica de materia orgánica que, mediante la acción de microorganismos, convierte parte de los residuos en dióxido de carbono y agua, generando energía en el proceso. Sin embargo, este proceso resulta ser muy tedioso, ya que requiere una cantidad significativa de mano de obra, tiempo para su desarrollo y sobre todo una inversión constante de dinero para costos de producción. La automatización de sistemas de compostaje ha surgido como una solución para mejorar la eficiencia y la escalabilidad de esta práctica (Alog et al., 2023).

Mediante el uso de sensores y algoritmos de control, los sistemas automatizados de compostaje pueden monitorear y optimizar los parámetros clave del proceso, como la temperatura, la humedad y la aireación (Cao et al., 2023). Estos sistemas pueden ajustar automáticamente los niveles de oxígeno, rotación y otros parámetros para mantener las condiciones ideales que generen una descomposición adecuada de los residuos orgánicos.

Además, los sistemas de gestión integrados permiten a los operadores monitorear y controlar el proceso de compostaje de forma remota, lo que reduce la necesidad de intervención manual y aumenta la eficiencia general (V et al., 2024). La automatización también puede mejorar la calidad y la consistencia del fertilizante final, ya que los parámetros se mantienen dentro de los rangos deseados de manera más constante.

1.11.3. Ciberseguridad en Sistemas de Internet de las Cosas (IoT)

El IoT ha revolucionado la forma en que interactuamos con el entorno, conectando una amplia gama de dispositivos, desde electrodomésticos hasta sistemas industriales. Si bien esta conectividad ha traído numerosos beneficios, también ha expuesto a estos sistemas a una variedad de amenazas cibernéticas que deben abordarse con urgencia.

Un desafío clave en la ciberseguridad de los sistemas IoT, es que muchos de estos dispositivos carecen de medidas de seguridad adecuadas. Algunos de ellos utilizan contraseñas por defecto, tienen acceso remoto sin autenticación o carecen de actualizaciones regulares de firmware. Quizá uno de los casos que mayor impacto tuvo, es el generado por el malware Mirai, pues según (Woodiss-Field et al., 2024), Mirai infectó a más de 140,000 dispositivos de IoT y realizó ataques de denegación de servicio de hasta 1 Tbps, propagándose a través de Telnet con contraseñas predeterminadas obtenidas gracia a ataques de diccionario.

Como se ejemplifico anteriormente, las vulnerabilidades presentes en los dispositivos inteligentes, son susceptibles a ser explotados por ciberdelincuentes para acceder a los datos de los usuarios, tomar el control de los dispositivos o incluso utilizar los sistemas IoT como parte de botnets para lanzar ataques más amplios. Además, la proliferación de estos dispositivos en entornos industriales y empresariales amplifica el riesgo, ya que la vulneración en estos sistemas puede tener graves consecuencias para la seguridad y la continuidad operativa de las organizaciones. De acuerdo con (Mekala et al., 2023), la integración de IoT en entornos empresariales e industriales, los expone a diversos ciberataques, ya que la mayoría de las tecnologías operativas carecen de consideraciones de seguridad, así como también de uso de protocolos de comunicación segura, lo que compromete los pilares fundamentales como la integridad, confidencialidad y disponibilidad de los sistemas y datos.

1.11.4. Inteligencia artificial como herramienta para el compostaje

Los algoritmos de IA pueden analizar los datos recopilados por los sensores, como temperatura, humedad y composición de los residuos, para ajustar automáticamente los parámetros del proceso y maximizar la eficiencia del compostaje. Por ejemplo, los modelos de aprendizaje automático pueden predecir las tasas de descomposición, identificar patrones en la formación de gases o determinar el momento óptimo. Para (Rosik & Stegenta-Dąbrowska, 2024), el uso de métodos analíticos basados en inteligencia artificial puede ayudar a predecir y optimizar las emisiones de gases durante el proceso de compostaje, mejorando así las condiciones de este proceso. Además, la IA puede ser utilizada para predecir el rendimiento y la calidad del compost final, lo que permite a los operadores tomar decisiones más informadas sobre la gestión del proceso (Boniecki et al., 2019; Taki & Rohani, 2022; N. Wang et al., 2024). Esta sinergia entre la automatización y la inteligencia artificial tiene el potencial de transformar la industria del compostaje, haciéndola más sostenible, rentable y escalable.

Más allá de la optimización del proceso, la IA también puede desempeñar un papel en la detección temprana de problemas y la identificación de oportunidades de mejora. Los sistemas basados en IA pueden monitorear en tiempo real los parámetros clave del compostaje y generar alertas cuando se detecten desviaciones de los rangos óptimos (Ani & Agu, 2022). Gracias a esta tecnología, los operadores pueden intervenir de manera oportuna y evitar posibles problemas, como la formación excesiva de gases, la generación de lixiviados o la presencia de patógenos.

1.12. Fundamentación teórica

1.12.1. Inteligencia Artificial

La IA es una tecnología que tiene la capacidad de realizar tareas que normalmente requieren la intervención de la inteligencia humana para ser ejecutadas. El aprendizaje, el razonamiento, la

percepción, la toma de decisiones y la resolución de problemas son algunas de las actividades que se pueden imitar con la ayuda de esta tecnología. La inteligencia artificial es la capacidad de las máquinas de usar algoritmos de aprendizaje, para tomar de decisiones de manera similar a los seres humanos (Rouhiainen, 2018). Las principales características de la IA incluyen la capacidad de procesar y analizar grandes cantidades de datos, la habilidad para identificar patrones y tomar decisiones basadas en ellos, entre otros (González Trejo & Julián Ortega, 2024).

1.12.2. Uso de la IA

La Inteligencia Artificial plantea una gran cantidad de oportunidades para el desarrollo e investigación en diferentes áreas. Según (Lopezosa, 2023), la inteligencia artificial está teniendo un impacto significativo en la sociedad que, según parece, continuará a corto y medio plazo. Esto se debe a que ofrece la posibilidad de automatizar tareas, optimizar procesos y analizar grandes volúmenes de datos para facilitar la toma de decisiones. Las nuevas tecnologías inteligentes, como la inteligencia artificial, están impulsando un cambio de paradigma en la forma de pensar y aplicar las teorías tradicionales, a medida que la revolución tecnológica transforma la sociedad (Suarez Prieto, 2018). Sin embargo, no todo puede ser bueno, pues también surgen preocupaciones sobre la seguridad, la privacidad, la ética y el impacto de los sistemas de IA en el empleo y la sociedad. Es crucial abordar estos desafíos de manera responsable y proactiva a medida que la IA se integra cada vez más en nuestras vidas.

1.12.3. Principales áreas y aplicaciones

A lo largo de estos años, la inteligencia artificial se ha ido abriendo campo en diferentes áreas como las ciencias, el arte, las matemáticas, la redacción de textos, entre otros. No obstante, en las áreas en las que mayor impacto ha generado son la informática con el aprendizaje automático, la visión artificial, el procesamiento del lenguaje natural, optimización de dispositivos mecánicos y de IoT.

- **El aprendizaje automatizado**

Se centra principalmente en el aprendizaje de los sistemas informáticos, mediante el uso de modelos matemáticos y algoritmos, los cuales guardan la información, la procesan y generan recursos con gran valor (Sprockel Diaz et al., 2023). Gracias al proceso de aprendizaje automatizado se puede realizar análisis predictivo de eventos, clasificación de imágenes, reconocimiento de patrones y mejor gestión de la data para tomar de decisiones.

- **La visión artificial**

Según (Oke & Cavus, 2024), la visión por medio de dispositivos computacionales es un campo prominente dentro de la investigación en inteligencia artificial, con aplicaciones que abarcan desde vehículos autónomos hasta el análisis de imágenes médicas. Brinda la posibilidad de almacena información visual, mediante el uso de dispositivos como cámaras y sensores, para que posteriormente los sistemas computacionales consigan interpretar, entender, aprender de los patrones visuales. Esta técnica ha ayudado a generar avances significativos en la detección y el reconocimiento de objetos, la inspección automatizada y la conducción de vehículos sin la necesidad de un operador humano.

- **Procesamiento del lenguaje natural**

La habilidad de las máquinas para poder comprender el lenguaje humano es quizá una de las invenciones que mayores beneficios a generado en la sociedad, pues con la ayuda de un entrenamiento previo para entender y atender a solicitudes realizadas por las personas. El reconocimiento de voz descompone y procesa el discurso proporcionado por el usuario para una comprensión y respuesta adecuadas (Barnes & Hutson, 2024). Los dispositivos tecnológicos son capaces de brindar asistencia personalizada a los usuarios, respondiendo a preguntas y realizando

tareas dictaminadas. Gracias a esto se han creado dispositivos tales como Siri, Alexa y Google Assistant.

- **Dispositivos mecánicos y de IoT**

De acuerdo con (Hassine, 2024), al integrar el IoT y la IA se consigue digitalizar el mundo físico y dotarlo de capacidades inteligentes. La integración de la inteligencia artificial en dispositivos mecánicos y electrónicos, ha demostrado ser de gran ayuda para áreas como la manufactura, la medicina, la exploración espacial y la logística, pues ayuda a optimizar los procesos y disminuir los costos de operación.

1.12.4. Sistemas de compostaje automatizado

El compostaje aerobio depende de factores como la relación de carbono/nitrógeno, pH, temperatura, humedad y oxigenación, los cuales pueden optimizarse mediante la implementación de sistemas automatizados e integrados con tecnologías 4.0 como el Internet de las Cosas (Patiño-Forero et al., 2023). El compostaje automatizado es un proceso controlado y mecanizado de descomposición biológica de residuos orgánicos, produce un material rico en nutrientes conocido como fertilizante. Este sistema utiliza tecnologías de IoT para optimizar y automatizar el proceso de compostaje, a diferencia del compostaje tradicional que es realizado de manera manual.

Los sistemas de compostaje automatizado cuentan con una serie de componentes electrónicos que permiten mantener un funcionamiento óptimo. Estos dispositivos sirven para monitorear parámetros como temperatura, humedad, pH y niveles de oxígeno. También permiten procesar la información y ajustar las medidas de manera automática generando un mayor control sobre la aireación, el riego y volteo, factores que son indispensables en el proceso de descomposición.

1.12.4.1. Beneficios de la automatización en el compostaje

La automatización en el compostaje ofrece una serie de beneficios significativos en comparación con los métodos tradicionales, pues existe una mejora considerable en la eficiencia y el rendimiento del proceso de compostaje (Mohapatra et al., 2023). La automatización del proceso da la posibilidad de optimizar el control de los parámetros críticos, como temperatura, humedad y aireación, lo que se traduce en una mayor calidad y consistencia del compost final.

La reducción de la mano de obra y los costos operativos son otros de los beneficios que otorga el compostaje automatizado. Al incorporar dispositivos electrónicos, requieren una menor intervención humana, lo que disminuye los costos asociados al personal y aumenta la capacidad de procesamiento de residuos orgánicos. Esto resulta especialmente relevante en operaciones de compostaje industrial, donde la automatización puede generar importantes ahorros y mejoras en la productividad.

1.12.4.2. Desafíos de los sistemas de compostaje automatizados

Una vez revisados algunos de los beneficios de la automatización de compostaje, es imprescindible también conocer los desafíos que se presentan con su integración. Entre los cuales, se tiene la complejidad en la configuración e integración de los diversos componentes tecnológicos, lo que requiere de personal capacitado en el mantenimiento y la gestión de estos sistemas (Daliakopoulos et al., 2019). Además, existe la necesidad de asegurar la confiabilidad y la continuidad del proceso de compostaje, lo que puede suponer un reto adicional.

La integración efectiva de tecnologías de sensores, control y monitoreo, también es otro desafío que se debe tener en cuenta, debido a que puede requerir una inversión significativa en infraestructura y sistemas de información. Esto puede representar una barrera de entrada para algunas organizaciones, especialmente aquellas con recursos limitados.

1.12.5. Amenazas de seguridad en sistemas de compostaje automatizado

1.12.5.1. Amenazas

El termino amenaza hace referencia a cualquier evento o acción que tiene el potencial de causar daño a los sistemas informáticos, redes, datos o a una organización en general. Las amenazas pueden provenir de una variedad de fuentes, incluyendo desastres naturales, errores humanos, fallas técnicas y atacantes cibernéticos (Tari et al., 2023). Este último es quizá uno de los más peligrosos, pues los ciberdelincuentes utilizan una amplia gama de técnicas, como malware, ataques de denegación de servicio, ingeniería social y exploits de vulnerabilidades, con el objetivo de obtener acceso no autorizado a dispositivos tecnológicos, robar información confidencial, interrumpir operaciones y causar daños a organizaciones.

1.12.5.2. Tipos de amenazas de seguridad en sistemas informáticos

Según (Tarazona T., 2007), existen diversos tipos de amenazas cibernéticas, cada una con sus propias características y objetivos. Algunas de las principales categorías incluyen:

- **Malware:** Son programas maliciosos que son diseñados para irrumpir en sistemas en busca de información o causar algún daño. Dentro de esta categoría se encuentra los virus, troyanos, ransomware y spyware.
- **Ataques de denegación de servicio (DDoS):** Los ciberdelincuentes hacen uso de botnets para intentar saturar entornos informáticos, impidiendo el acceso a sistemas o servicios a los usuarios legítimos.
- **Ingeniería social:** Son técnicas psicológicas utilizadas para manipular a las personas y obtener información confidencial o acceso no autorizado a sistemas.

- **Exploits de vulnerabilidades:** Es la ejecución de scripts maliciosos que buscan aprovechar de vulnerabilidades en software o sistemas para conseguir acceso no autorizado o ejecutar código malicioso.
- **Amenazas internas:** Este tipo de amenazas se refiere a las actividades dañinas, como el robo de información o manipulación de sistemas no autorizados, realizadas por empleados o personas con acceso autorizado a sistemas y datos.

Capítulo II. Diagnóstico situacional

2.1. Metodología

El presente artículo se enfoca en una investigación descriptiva cualitativa, cuyo objetivo fue realizar una síntesis exhaustiva de la información contenida en los artículos más relevantes sobre el uso de la inteligencia artificial en sistemas de compostaje. Para llevar a cabo este estudio, se emplearon herramientas de gestión y análisis de datos, las cuales facilitaron un manejo eficiente y organizado de la información relacionada con el tema.

La metodología desarrollada se basa en los lineamientos establecidos por Bárbara Kitchenham, con el propósito de ofrecer una visión general que sea objetiva y libre de sesgos (Kitchenham & Brereton, 2013). Esta metodología ofrece una forma más exacta de evaluar los resultados y favorece una comprensión más profunda de los elementos fundamentales del tema tratado. Por lo tanto, el presente trabajo se estructura en cinco fases, cada una de las cuales contribuye a una comprensión integral de la integración de la inteligencia artificial en los sistemas de compostaje (ver **Figura 1**).

Figura 1

Metodología desarrollada para la síntesis de los artículos científicos



Nota. Metodología desarrollada para la síntesis exhaustiva de la información contenida en artículos científicos.

Elaboración propia.

Las fases expuestas anteriormente han sido adaptadas según las necesidades de la presente investigación. Al realizar la revisión de información sobre las amenazas presentes en la integración de la inteligencia artificial en los sistemas de compostaje, se ha considerado pertinente adaptar las fases lo cual se detalla a continuación.

2.1.1. Planeación

En esta fase, se definieron las preguntas de investigación, las cuales fueron fundamentales para orientar el estudio sobre las amenazas de seguridad asociadas con la implementación de inteligencia artificial en sistemas de compostaje automatizados. Estas preguntas buscaron identificar los riesgos potenciales que pueden surgir durante la recolección y procesamiento de datos, así como conocer cuáles son las técnicas de IA que se están utilizando en los procesos de compostaje. Al establecer un marco claro, se facilitó la identificación de áreas críticas que

requieren atención y análisis detallado, garantizando que la investigación se centre en los aspectos más relevantes del tema.

Entonces, se llevó a cabo el establecimiento de criterios de exclusión e inclusión, un proceso esencial para la selección de fuentes de información. Este proceso aseguró que solo se consideren estudios y datos que sean pertinentes y confiables en relación con las amenazas de seguridad. Se excluyeron aquellos que no aportaron información relevante o que carecían de rigor científico. Finalmente, la selección de fuentes de información se realizó con un enfoque metódico, priorizando artículos revisados por pares, informes técnicos y estudios de caso que aborden directamente la interacción entre la inteligencia artificial y los sistemas de compostaje. Esto garantizó que la base de datos sea sólida y representativa de las preocupaciones actuales en el campo.

2.1.2. Búsqueda de literatura

Para el desarrollo de esta fase, se utilizó la herramienta Parsifal, que permitió una gestión y análisis más eficientes de los datos. Esta plataforma organiza y maneja grandes volúmenes de información de manera efectiva, facilitando la recopilación de datos relevantes. Gracias a Parsifal, se optimizó la búsqueda de información, ya que permitió seleccionar y definir diferentes tipos de bases de datos científicas (ver ***Figura 2***).

Figura 2

Bases de datos científicas seleccionadas

Name	URL	
ACM Digital Library	http://portal.acm.org	 
IEEE Digital Library	http://ieeexplore.ieee.org	 
Science@Direct	http://www.sciencedirect.com	 
Scopus	http://www.scopus.com	 
Taylor & Francis	https://www.tandfonline.com/subjects/medicine-dentistry-nursing-and-allied-health?target=titleSearch%26content%3Dtitle%26sortBy%3DTitleSort	 

Nota. Bases de datos científicas seleccionadas dentro de la plataforma Parsifal. Tomado de (Parsifal, 2024)

Dentro de estas bases de datos, se pudo realizar la búsqueda utilizando palabras clave y sinónimos, lo que enriqueció el proceso.

2.1.3. Selección de estudios

Una vez que se identificaron las palabras clave, sus sinónimos y las bases de datos científicas pertinentes, se procedió a generar las cadenas de búsqueda necesarias (ver **Tabla 2**). Este proceso fue fundamental para localizar artículos que aporten un valor significativo al trabajo de investigación. Al crear estas cadenas, se combinaron diferentes términos y sinónimos, lo que amplió el alcance de los resultados y mejoró la relevancia de la información obtenida. La búsqueda sistemática en las bases de datos seleccionadas permitió acceder a una variedad de estudios y artículos. De este modo, se garantizó que la información recopilada sea de alta calidad y rigor científico.

Tabla 2

Palabras clave para búsqueda en las bases de datos

Bases de datos científicas	Cadenas de búsqueda
ACM Digital Library	("world") AND ("artificial intelligence" OR "artificial neural networks" OR "machine learning" OR "natural language processing" OR "neural networks" OR "supercharged learning" OR "unsupervised learning" OR "assistive robots" OR "automaton" OR "bot" OR "robot" OR "robotics" OR "composting" OR "compost bin" OR "compostar" OR "fertilizer" OR "mulch" OR "organic fertilizer" OR "threats" OR "danger" OR "vulnerabilities" OR "weaknesses") AND ("systematic literature review") AND ("articles" OR "journals")
IEEE Digital Library	("world") AND ("artificial intelligence" OR "artificial neural networks" OR "machine learning" OR "natural language processing" OR "neural networks" OR "supercharged learning" OR "unsupervised learning" OR "assistive robots" OR "automaton" OR "bot" OR "robot" OR "robotics" OR "composting" OR "compost bin" OR "compostar" OR "fertilizer" OR "mulch" OR "organic fertilizer" OR "threats" OR "danger" OR "vulnerabilities" OR "weaknesses") AND ("systematic literature review") AND ("articles" OR "journals")
Science@Direct	("world") AND ("artificial intelligence" OR "artificial neural networks" OR "machine learning" OR "natural language processing" OR "neural networks" OR "supercharged learning" OR "unsupervised learning" OR "assistive robots" OR "automaton" OR "bot" OR "robot" OR "robotics" OR "composting" OR "compost bin" OR "compostar" OR "fertilizer" OR "mulch" OR "organic fertilizer" OR "threats" OR "danger" OR "vulnerabilities" OR "weaknesses") AND ("systematic literature review") AND ("articles" OR "journals")
Scopus	("artificial intelligence" OR "assistive robots" OR "composting" OR "machine learning" OR "robots" OR "threats") AND ("systematic review of liteaura" OR "traditional vs. new") AND ("articles" OR "journals")
Taylor & Francis	("world") AND ("artificial intelligence" OR "artificial neural networks" OR "machine learning" OR "natural language processing" OR "neural networks" OR "supercharged learning" OR "unsupervised learning" OR "assistive robots" OR "automaton" OR "bot" OR "robot" OR "robotics" OR "composting" OR "compost bin" OR "compostar" OR "fertilizer" OR "mulch" OR "organic fertilizer" OR "threats" OR "danger" OR "vulnerabilities" OR "weaknesses") AND ("systematic literature review") AND ("articles" OR "journals")

Nota. Palabras utilizadas para realizar la búsqueda de la información en las diferentes bases de datos seleccionadas

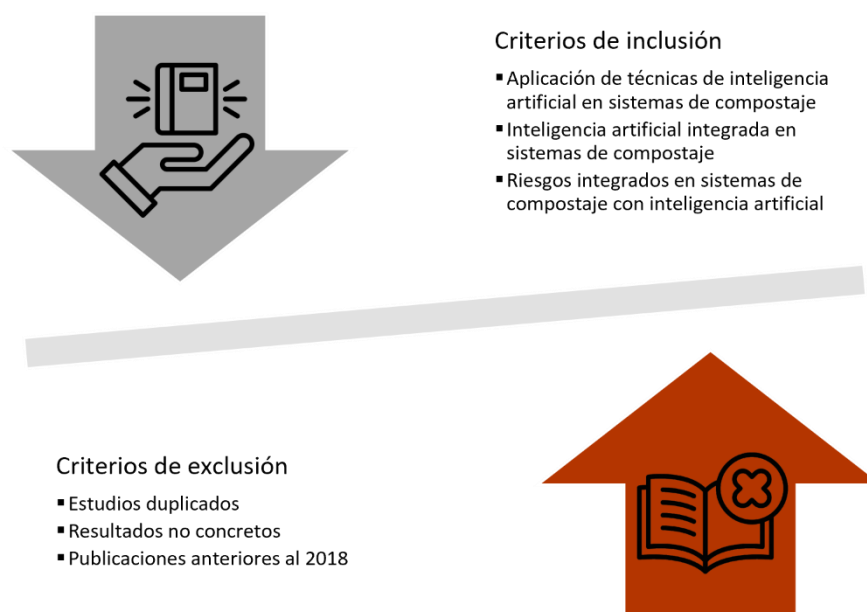
2.1.4. Evaluación de la calidad

Al emplear los diferentes criterios de búsqueda en las bases de datos, se obtuvieron un total de 719 artículos. Este resultado inicial proporcionó una amplia gama de documentos para analizar. Sin embargo, para realizar una evaluación adecuada de cada artículo, se establecieron criterios de inclusión y exclusión (ver **Figura 3**). Estos criterios son fundamentales, ya que permiten filtrar los artículos que realmente aportan valor al trabajo de investigación. La aplicación rigurosa de

estos criterios garantiza que solo se seleccionen aquellos estudios que cumplan con los requisitos necesarios, asegurando la calidad y relevancia de la información. De este modo, se logró concentrar el análisis en las fuentes más pertinentes, facilitando un enfoque más claro.

Figura 3

Criterios de exclusión e inclusión



Nota. Criterios de exclusión e inclusión considerados para la filtración de estudios. Elaboración propia.

Luego de aplicar los criterios de inclusión y exclusión, así como las preguntas de investigación formuladas previamente, se logró obtener un conjunto de artículos relevantes que sirvieron para el desarrollo de la investigación. Para llevar a cabo esta clasificación y selección, se tuvieron en cuenta los resúmenes de los artículos, lo que permitió una evaluación preliminar de su contenido. Durante este proceso, se identificaron palabras clave esenciales como "inteligencia artificial", "compostaje", "compost", "amenazas" y "machine learning", entre otras. Estas palabras clave resultaron fundamentales para orientar la búsqueda y seleccionar aquellos

estudios que abordaran de manera efectiva los temas de interés. Con esta estrategia, se garantizó que los artículos elegidos no solo fueran pertinentes, sino que también aportaran un valor significativo al análisis.

2.1.5. Extracción y análisis de datos

Completada la selección de artículos pertinentes, se procedió a realizar una síntesis de cada uno de ellos, lo que permitió extraer la información más relevante y significativa recopilada a lo largo de la investigación. Este proceso de síntesis facilitó la identificación de los hallazgos clave y las contribuciones de cada estudio. De este modo, se aseguró una presentación ordenada y fundamentada de los conocimientos adquiridos.

Capítulo III. Propuesta

3.1. Selección de artículos

Una vez completada la búsqueda de artículos en las bases de datos seleccionadas, se llevó a cabo la selección de estudios que contenían información pertinente acerca de las amenazas de seguridad en sistemas de compostaje automatizado que incorporan inteligencia artificial. Es importante recalcar que, los documentos seleccionados, debieron cumplir con los requisitos mínimos establecidos previamente. En la **Tabla 3**, se presentan los resultados obtenidos de este proceso de selección, que reflejan la relevancia y calidad de la información disponible en este campo de estudio.

Tabla 3

Total de estudios encontrados y seleccionados

Base de datos	Encontrados	Seleccionados
ACM Digital Library	14	4
IEEE Digital Library	11	7
Science@Direct	400	30
Scopus	289	22
Taylor&Francis	5	3
Total	719	66

Nota. Los estudios encontrados fueron filtrados en base a los criterios de evaluación para seleccionar los más pertinentes.

Como se observa en la tabla anterior, se han identificado un total de 719 artículos en diversas bases de datos que abordan las amenazas de seguridad vinculadas a la integración de inteligencia artificial en sistemas de compostaje automatizado. Tras llevar a cabo el proceso de selección de los artículos, aplicando los criterios mínimos establecidos, se logró obtener un total de 66 estudios. Estos artículos seleccionados fueron fundamentales para la realización de esta revisión sistemática, proporcionando una base sólida para el análisis y la discusión de los hallazgos.

3.2. Planificación y clasificación de la información

Para agilizar y optimizar los tiempos de la investigación, se utilizó Parsifal como herramienta de organización y planificación. Esta plataforma facilitó una evaluación adecuada y alineada con la metodología empleada (ver **Figura 4**). Gracias a sus diversas estrategias de evaluación y a la formulación de preguntas de investigación, se lograron resultados de alta calidad.

Figura 4

Evaluación de artículos

Parsifal

BlogAboutHelp

joxacana

⚙️🔗

joxacana / Security threats associated with the integration of artificial intelligence in automated composting systems.

⚙️ Review settings

ReviewPlanningConductingReporting

1. Search2. Import Studies3. Study Selection4. Quality Assessment5. Data Extraction6. Data Analysis

Quality Assessment

DetailedSummary

Show: ☒ All ☐ Done ☐ Pending ☐ Score higher than 2.0 ☐ Score lower or equal to 2.0

Order by: Title (a - z)

To answer the form you may click on the desired answer on the following tables.

A flexible control system designed for lab-scale simulations and optimization of composting processes (2018)

3.5

Does the study present a clear description of how artificial intelligence is integrated into the automated composting system?	YES	PARTLY	NO
Does the study identify and describe the types of data used to train and validate AI models in composting?	YES	PARTLY	NO
Does the study evaluate the quality of compost produced with the help of AI compared to traditional methods?	YES	PARTLY	NO
Is the system designed to ensure the privacy and security of the data collected (e.g., through encryption and authentication)?	YES	PARTLY	NO

A multi-label waste detection model based on transfer learning (2022)

3.5

Does the study present a clear description of how artificial intelligence is integrated into the automated composting system?	YES	PARTLY	NO
Does the study identify and describe the types of data used to train and validate AI models in composting?	YES	PARTLY	NO
Does the study evaluate the quality of compost produced with the help of AI compared to traditional methods?	YES	PARTLY	NO
Is the system designed to ensure the privacy and security of the data collected (e.g., through encryption and authentication)?	YES	PARTLY	NO

A review of mathematical models for composting (2020)

3.0

Does the study present a clear description of how artificial intelligence is integrated into the automated composting system?	YES	PARTLY	NO
Does the study identify and describe the types of data used to train and validate AI models in composting?	YES	PARTLY	NO
Does the study evaluate the quality of compost produced with the help of AI compared to traditional methods?	YES	PARTLY	NO
Is the system designed to ensure the privacy and security of the data collected (e.g., through encryption and authentication)?	YES	PARTLY	NO

Advanced dual-artificial neural network system for biomass combustion analysis and emission minimization (2024)

3.5

Does the study present a clear description of how artificial intelligence is integrated into the automated composting system?	YES	PARTLY	NO
Does the study identify and describe the types of data used to train and validate AI models in composting?	YES	PARTLY	NO
Does the study evaluate the quality of compost produced with the help of AI compared to traditional methods?	YES	PARTLY	NO
Is the system designed to ensure the privacy and security of the data collected (e.g., through encryption and authentication)?	YES	PARTLY	NO

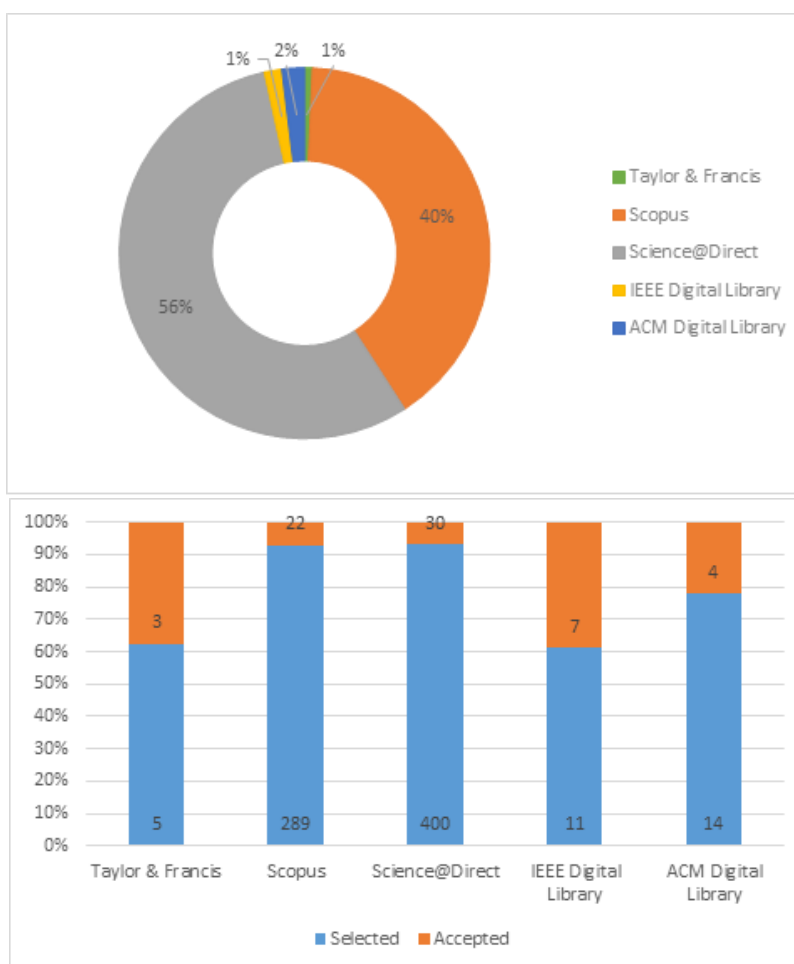
Nota. La evaluación de artículos se la realizo dentro de la plataforma Parsifal. Tomado de (Parsifal, 2024).

3.3. Nivel de evaluación de los artículos seleccionados

Con el objetivo de evaluar adecuadamente los artículos, se utilizaron preguntas con niveles de puntuación que oscilan entre 0.0 y 1.0. Un valor de 0.0 indica que el estudio no proporciona la información necesaria, lo que lo hace poco fiable. Un puntaje de 0.5 sugiere que la información cumple de manera parcial con los requisitos establecidos. Por último, un valor de 1.0 denota que la información es completamente fiable y cumple con todos los criterios exigidos. Gracias a ello se pudo obtener la ponderación de los artículos (ver **Figura 5**).

Figura 5

Datos estadísticos de la ponderación de los artículos



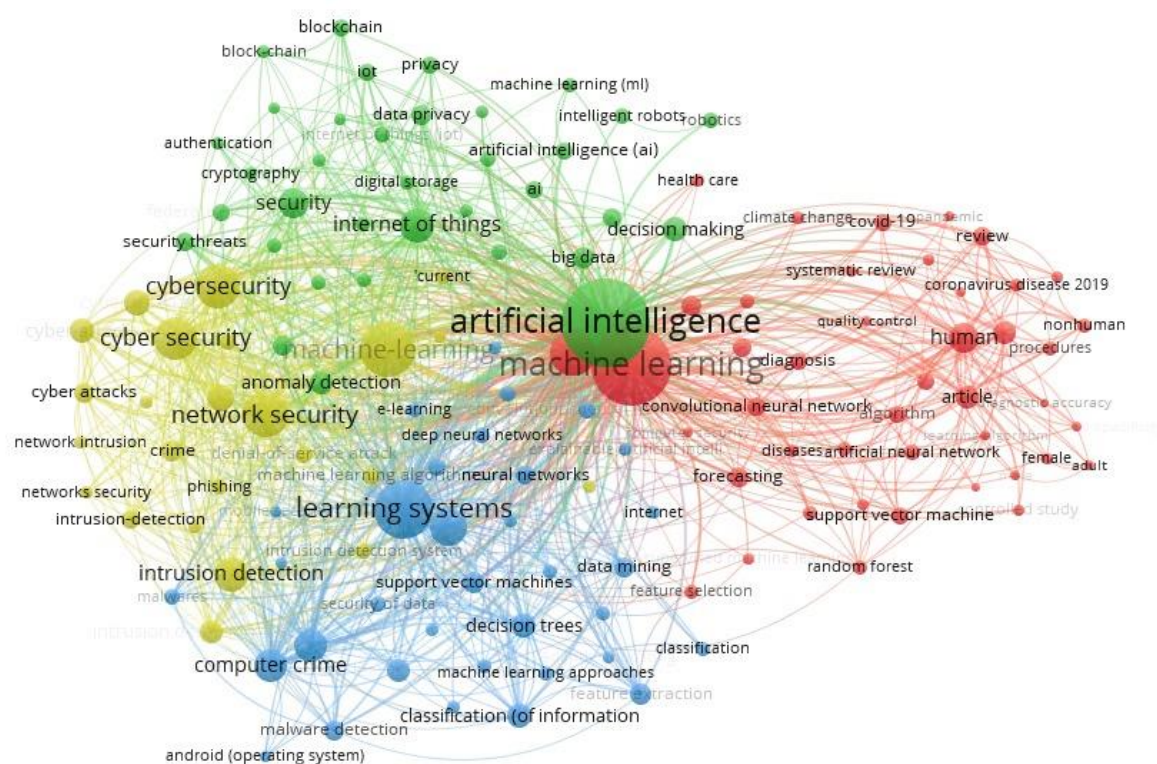
Nota. Revisión estadística de los artículos seleccionados por cada base de datos científica.

3.4. Red bibliométrica

Las redes bibliométricas son representaciones visuales que nos ayudan a establecer conexiones entre los elementos de una investigación, permitiendo así identificar patrones, vínculos y tendencias. Es importante señalar que estas redes se construyen a partir de metadatos extraídos, como autores, palabras clave y coautores, entre otros. En nuestro caso, hemos extraído las palabras clave como metadatos para revisar visualmente las conexiones y realizar una adecuada agrupación de las mismas.

Figura 6

Red Bibliométrica de los metadatos de las bases de datos

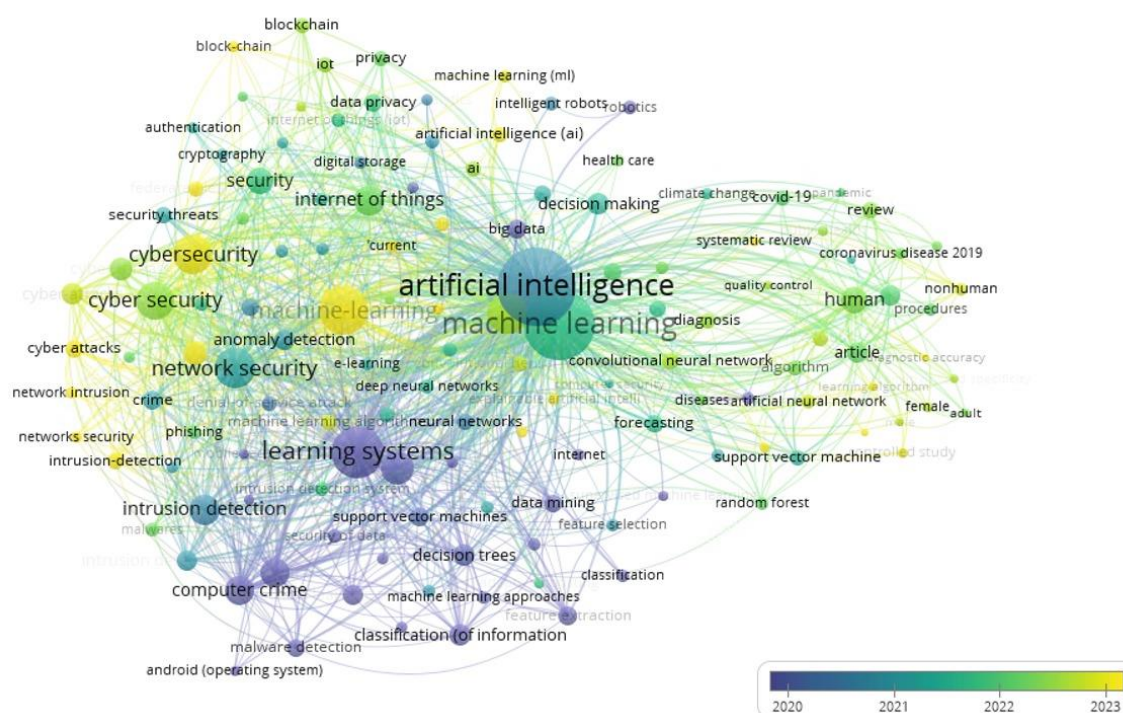


Nota. Los metadatos utilizados para la realización de la red bibliométrica corresponden las diferentes bases de datos seleccionadas. Elaboración propia.

En la **Figura 6**, se puede observar la relación entre los elementos analizados en los 66 artículos seleccionados, con los cuales se ha construido una visualización de red. Esta red consta de nodos de diferentes tamaños y colores, que representan su grado de importancia. En este gráfico, el color verde indica el mayor grado de importancia, seguido por el rojo, el amarillo y, finalmente, el azul, que representa el menor grado de relevancia. La red bibliográfica destaca la importancia de las tecnologías relacionadas con la inteligencia artificial en los sistemas de compostaje, incluyendo machine learning, redes neuronales convolucionales, big data, internet de las cosas, detección de intrusos y ciberseguridad, entre otros.

Figura 7

Red de visualización



Nota. Los colores del grafico muestran a las palabras en círculos azules como los más relevantes y según disminuye la intensidad disminuye la importancia.

una menor concurrencia. Este patrón sugiere un aumento en el uso de tecnologías relacionadas con la inteligencia artificial.

3.5.Síntesis de la información

En la actualidad la inteligencia artificial juega un papel crucial en el proceso de compostaje, debido a que se utilizan distintas técnicas de aprendizaje automatizado, como las redes neuronales convolucionales para predecir la madurez del compost (Li et al., 2023). El aprendizaje supervisado, también es usado frecuentemente para la calibración de sensores de temperatura (Moncks et al., 2022) para realizar monitoreos frecuentes. Por otro lado, las redes neuronales, son empleadas con modelos de apilamiento en residuos de cocina para mejorar el proceso de compostaje (Ding et al., 2023). Finalmente, otras tecnologías relacionadas con la inteligencia artificial y el machine learning, están empleándose en otros procesos de compostaje (Borole et al., 2023; Flores-Asis et al., 2018; Gangopadhyay & Zhai, 2022; Ghusale et al., 2023; Jangsamsi, 2023; Karthik Raghunath & Kamalraj, 2022; Zhang et al., 2022).

De igual forma, los sistemas de compostaje que integran inteligencia artificial ofrecen una serie de beneficios. Según (Nguyen et al., 2021; Pinhal Luqueci Thomaz et al., 2023; Sinduja & Kumar, 2024), la incorporación de la IA en estos sistemas mejora la eficiencia en la gestión de residuos y fomenta una mayor participación de las personas, gracias a la facilidad y optimización en los tiempos de obtención del compost. Por esta razón, estos métodos están atrayendo a un número creciente de personas que buscan agilizar los tiempos de producción del compost. Un excelente ejemplo de esto es la optimización en la toma de decisiones en la elección de parámetros como la temperatura, la humedad y la cantidad de agua. (Dogan et al., 2023), asegura que, al emplear sistemas de IA en el proceso de compostaje para la toma de decisiones, se obtuvieron resultados en un rango del 95% al 100%, lo que demuestra una gran efectividad.

Además, es fundamental resaltar que, según (Andeobu et al., 2022; Andrade Cruz et al., 2022; Aydın Temel et al., 2023; Chen et al., 2024; Cheng et al., 2023; Huang et al., 2024b; Serbaya, 2024; Walling et al., 2020), la implementación de la inteligencia artificial ha revolucionado el monitoreo en cada fase del proceso de compostaje. Esta tecnología, combinada con sensores ópticos, permite un seguimiento más preciso y detallado, lo que se traduce en un control más efectivo de los bioprocesos en tiempo real. Gracias a esta sinergia, se pueden ajustar parámetros de manera instantánea y eficiente, optimizando así las condiciones necesarias para un compostaje exitoso.

Para que los sistemas de compostaje que utilizan inteligencia artificial puedan ser implementados de manera efectiva, es crucial la recopilación de ciertos datos y un entrenamiento previo. Según (Boniecki et al., 2019); (Taki & Rohani, 2022); (N. Wang et al., 2024), los datos comúnmente utilizados para entrenar estos sistemas incluyen la composición de los residuos, lo que abarca elementos como oxígeno, carbono, agua y azufre, entre otros componentes químicos esenciales que intervienen en el proceso de compostaje.

Del mismo modo (Bai et al., 2024; Oazana et al., 2018; Postawa et al., 2024; Tsui et al., 2023; N. Wang et al., 2024), afirman que para entrenar estos sistemas se requiere información de entrada como la temperatura, el tiempo de descomposición, la tasa de descomposición y resultados tanto exitosos como fallidos. Esta variedad de datos es fundamental para que el sistema pueda aprender y ajustarse, conduciéndose hacia resultados óptimos.

Finalmente, es necesario contar con información más delicada, como la localización geográfica. Esta información es vital para predecir los resultados del compost, considerando los factores ambientales específicos del lugar donde se realiza el proceso (Ding et al., 2022; Guo et al., 2022; B. Wang et al., 2024). La integración de todos estos datos permite desarrollar un

sistema de compostaje más eficiente y adaptado a las condiciones locales, lo que maximiza su efectividad y sostenibilidad.

3.6. Discusión

En este apartado, se lleva a cabo un análisis de los resultados obtenidos, basado en la información recopilada de manera rigurosa y sistemática. Además, se da respuesta a las preguntas planteadas al inicio de esta investigación, utilizando todos los datos recopilados sobre las amenazas asociadas a la integración de la inteligencia artificial en los sistemas de compostaje.

Los artículos seleccionados para este trabajo han sido sometidos a un proceso de clasificación y selección, asegurando que sean los más relevantes y óptimos para el desarrollo de esta investigación. A través de este análisis, se espera contribuir a un entendimiento profundo de cómo la IA puede transformar la gestión de residuos, al tiempo que se identifican y abordan las preocupaciones asociadas.

Q1 ¿Cuáles son las principales amenazas para la seguridad asociadas a la integración de la inteligencia artificial (IA) en los sistemas automatizados de compostaje y qué repercusiones tienen?

Tras llevar a cabo una búsqueda exhaustiva en diversas bases de datos y realizar una revisión detallada de la bibliografía relacionada con las amenazas que pueden surgir de la integración de la inteligencia artificial en los sistemas de compostaje, se observa que, hasta el momento, no existen investigaciones concretas ni estudios que señalen que la incorporación de esta tecnología en los sistemas de compostaje conlleve algún tipo de amenaza directa. Sin embargo, es innegable que la inteligencia artificial puede generar riesgos significativos.

Según (Mateo, 2022), el uso de sistemas de inteligencia artificial implica riesgos asociados a la privacidad y seguridad de los datos. Esto se debe a que el manejo de grandes volúmenes de información convierte a estos sistemas en un blanco atractivo para los ciberdelincuentes que buscan robar datos confidenciales y sensibles. Esta preocupación subraya la necesidad de implementar medidas de seguridad robustas y protocolos de protección de datos al adoptar tecnologías de inteligencia artificial en el ámbito del compostaje (Del Rocío Calleja Reina, 2023). De esta manera, se busca mitigar posibles amenazas y garantizar que la innovación en la gestión de residuos se realice de forma segura y responsable.

Si bien no se han identificado amenazas directamente relacionadas con los sistemas encargados de la producción del compostaje, se sabe que los dispositivos de IoT que se encuentran presentes en estos sistemas, son vulnerables a ataques. Según (Díaz, 2019) los dispositivos de IoT no cuentan con las medidas de seguridad necesarias para poder blindarlos ante ataques cibernéticos, ocasionando que ciberdelincuentes puedan ingresar a estos sistemas y apropiarse ellos a través de malware especializado, con el fin de unirlos a botnets y realizar ataques de DDos.

Otra vulnerabilidad que es asociada a estos dispositivos, es el robo de credenciales de acceso, pues (Hurtado et al., 2024), afirma que, debido a la falta de mecanismos de seguridad sólidos, personas no autorizadas, pueden acceder a los dispositivos de IoT de manera remota, con el fin de realizar el robo de información. Sin embargo, en algunos casos, los atacantes no solo consiguen el acceso a la información de estos entornos, sino que también aprovechan sus conexiones con servidores para infectar todo un sistema informático dentro de las organizaciones (Jhordany Serna Valdivia & Mejia Miranda, 2020).

Q2 ¿Qué tecnologías de inteligencia artificial (aprendizaje automático, redes neuronales, algoritmos predictivos) son las que se están utilizando actualmente para la automatización del compostaje y por qué?

A nivel mundial, se están implementando diversas tecnologías relacionadas con la inteligencia artificial en el ámbito del compostaje. Por ejemplo, se utilizan redes neuronales convolucionales para realizar predicciones sobre los resultados finales del proceso de compostaje (Li et al., 2023), lo que permite optimizar y ajustar las condiciones operativas.

Además, se están empleando el aprendizaje supervisado para la calibración de sensores de temperatura (Moncks et al., 2022), sin mencionar las redes neuronales para procesar grandes volúmenes de datos, especialmente en el análisis de imágenes, lo que facilita la identificación y clasificación de materiales orgánicos. En algunos casos, se utilizan modelos de apilamiento, que combinan múltiples algoritmos de aprendizaje automático para mejorar la precisión de las predicciones (Ding et al., 2023).

Estas tecnologías son particularmente útiles en la automatización de sistemas de compostaje, permitiendo una gestión más eficiente y efectiva de los bioprocesos (Borole et al., 2023; Flores-Asis et al., 2018; Gangopadhyay & Zhai, 2022; Ghusale et al., 2023; Jangsamsi, 2023; Karthik Raghunath & Kamalraj, 2022; Zhang et al., 2022). Al integrar estas herramientas avanzadas, se garantiza una mejora considerable en el proceso de compost.

Otros elementos que también se encuentran presentes en los procesos de compostaje son la visión por computadora, pues (Salinas Osuna et al., 2021), afirma que se utiliza esta tecnología para poder mantener una mejor clasificación y recolección de materiales que son compostables.

Los modelos predictivos también son empleados para realizar un análisis de los componentes idóneos que conforman el compost, con el fin de predecir la mejor mezcla en los sistemas de compostaje, mejorando su eficiencia y composición (García Dávila et al., 2024).

Para (Ghusale et al., 2023), el análisis de datos y los modelos de simulación están siendo utilizados por los productores de compost para identificar la presencia de patógenos y microorganismos que puedan ser perjudiciales durante el proceso de compostaje. Estos métodos también permiten simular diferentes escenarios, determinando tanto los casos de éxito como aquellos en los que los resultados obtenidos no son los esperados. De esta manera, se pueden anticipar y evitar problemas en el compost final.

Finalmente (Jangsamsi, 2023) afirma que, se están utilizando asistentes virtuales, como chatbots y aplicaciones que integran inteligencia artificial, para aclarar dudas, calcular parámetros idóneos para un compost adecuado y proporcionar recomendaciones personalizadas. Además, estas herramientas educativas ayudan a enseñar nuevas técnicas de compostaje a los encargados, mejorando así el conocimiento y la eficiencia en el proceso.

Q3 ¿Cuáles son las ventajas de integrar la inteligencia artificial en los sistemas de compostaje en comparación con los métodos tradicionales?

Si bien es conocido que los métodos tradicionales de compostaje pueden resultar en un proceso prolongado y laborioso, dado que generalmente se llevan a cabo de manera manual (Jaramillo, 2023), la integración de la inteligencia artificial en este ámbito promete transformar significativamente esta dinámica. Al incorporar tecnologías avanzadas, se logra agilizar el proceso y reducir drásticamente los tiempos de obtención del compost. Esto se debe a que la inteligencia artificial permite la automatización de diversas etapas del compostaje, optimizando

cada fase del proceso. Los sistemas pueden ser entrenados previamente para ajustar condiciones como la temperatura (Nguyen et al., 2021; Pinhal Luqueci Thomaz et al., 2023; Sinduja & Kumar, 2024), lo que asegura resultados más consistentes y de mayor calidad (Tortosa, 2023).

Otro de los grandes beneficios de integrar la inteligencia artificial en los sistemas de compostaje es la capacidad de monitorear todo el proceso, desde su inicio hasta la obtención del compost final. Esta supervisión continua permite un control más preciso de las variables críticas que afectan el proceso, como la temperatura, la humedad y la composición de los materiales (Andeobu et al., 2022; Andrade Cruz et al., 2022; Aydın Temel et al., 2023; Chen et al., 2024; Cheng et al., 2023; Huang et al., 2024b; Serbaya, 2024; Walling et al., 2020). La combinación de la inteligencia artificial con sensores avanzados potencia aún más esta capacidad (Lutz & Coradi, 2022). Estos sensores recopilan datos en tiempo real, que luego son analizados por algoritmos de inteligencia artificial para identificar patrones y tendencias. Esto no solo facilita la toma de decisiones informadas, sino que también permite realizar ajustes instantáneos que optimizan las condiciones del compostaje.

Q4 ¿Qué tipos de datos son necesarios para entrenar los algoritmos de IA en sistemas de compostaje y cómo se utilizan estos datos?

Según (Boniecki et al., 2019; Taki & Rohani, 2022; Wan et al., 2022), los datos necesarios para entrenar la inteligencia artificial en relación con los sistemas de compostaje, abarcan una variedad de factores críticos relacionados con la composición de los residuos. Entre estos se incluyen elementos esenciales como el oxígeno, el carbono, el agua y el azufre. Además, es fundamental considerar tanto los componentes químicos como los físicos que influyen en el proceso de compostaje, (Bai et al., 2024; Oazana et al., 2018; Postawa et al., 2024; Tsui et al.,

2023; N. Wang et al., 2024). Dentro de estos factores, se destacan la temperatura, la humedad, la tasa de descomposición y los resultados, tanto exitosos como fallidos, de los ciclos de compostaje. Todos estos datos son vitales para el entrenamiento de los sistemas de inteligencia artificial, ya que permiten a estos modelos aprender y adaptarse a las condiciones específicas del proceso (Ding et al., 2022; Guo et al., 2022; B. Wang et al., 2024). Al integrar esta información, se mejora la capacidad de los sistemas para predecir y optimizar el compostaje, asegurando mejores resultados.

Conclusiones

Una vez que se obtuvieron 719 artículos, se seleccionaron 66 de ellos basados en criterios de evaluación rigurosos, permitió identificar los trabajos más importantes y relevantes en relación con las amenazas de seguridad asociadas a la integración de la inteligencia artificial en sistemas de compostaje automatizados. Tras revisar estos documentos clave, se llegó a la conclusión de que, hasta la fecha de esta investigación, no existen estudios concretos que afirmen que la incorporación de la inteligencia artificial en estos sistemas conlleve algún tipo de riesgo o amenaza. Sin embargo, se han detectado amenazas presentes en los dispositivos de IoT, mismos que son necesarios para la integración de IA en los sistemas de compostaje. Entre los hallazgos esta los robos de credenciales de acceso, la captura de los dispositivos para formar parte de botnets y el uso de estos elementos tecnológicos como medios para acceso a redes de computadoras.

Los estudios revisados no abordan de forma óptima los protocolos de seguridad que deberían considerarse para la integración de la inteligencia artificial en sistemas de compostaje. Además, existe una falta de evaluación de los riesgos sociales asociados y la posible vulneración de datos

en sistemas que utilizan inteligencia artificial. Aspectos críticos como el robo de datos, ataques cibernéticos y factores físicos que podrían comprometer la integridad del sistema no son adecuadamente analizados. Esto es preocupante, ya que la implementación de tecnologías avanzadas sin una evaluación exhaustiva de estos riesgos puede dejar a las organizaciones expuestas a amenazas significativas.

Si bien el proceso de compostaje tradicional ha sido llevado a cabo de manera exitosa durante muchos años, también enfrenta varios desafíos que dificultan y prolongan la generación del compost final. La integración de la inteligencia artificial ha permitido optimizar estos procesos, aumentando su eficiencia y reduciendo significativamente los tiempos de espera. Gracias a la capacidad de controlar parámetros críticos como la humedad, el pH y la temperatura en tiempo real, es posible ajustar las condiciones del compostaje de manera más precisa y efectiva. Esto no solo acelera el proceso, sino que también mejora la calidad del compost final, garantizando un producto más homogéneo y nutritivo.

La mayoría de los sistemas de compostaje que integran inteligencia artificial en sus procesos utilizan técnicas avanzadas que facilitan la realización de ajustes en los parámetros y el monitoreo continuo del proceso. Entre estas tecnologías, las más utilizadas en la actualidad son las redes neuronales, así como el aprendizaje supervisado y no supervisado, el análisis de datos, modelos de simulación y modelos predictivos que son fundamentales para la detección de patrones en los datos específicos generados por el sistema de compostaje. Estas técnicas permiten analizar grandes volúmenes de información de manera eficiente, identificando tendencias y correlaciones que podrían pasar desapercibidas en un análisis manual.

También, es importante destacar que las redes neuronales convolucionales y la visión por computadora se están utilizando de manera extensa para llevar a cabo un monitoreo integral del proceso de compostaje. Estas tecnologías aprovechan el procesamiento de imágenes e información visual para realizar una clasificación más precisa de diversos aspectos, como la composición, la textura y el color de los materiales en descomposición. Este enfoque permite una evaluación más detallada y objetiva del estado del compostaje, facilitando la identificación de problemas potenciales y optimizando las condiciones del proceso.

La integración de la inteligencia artificial en los sistemas de compostaje genera una serie de beneficios significativos para el procesamiento de materia orgánica. Al minimizar la necesidad de intervención humana, se reducen los errores asociados a la manipulación manual, lo que permite obtener resultados más consistentes y de mayor calidad en grandes volúmenes de compostadores. Además, la automatización de los procesos no solo mejora la eficiencia, sino que también optimiza la utilización de recursos, como agua y energía, al ajustar automáticamente las condiciones de compostaje según las necesidades específicas del material en descomposición.

Otro gran beneficio destacado en las investigaciones es la capacidad de realizar monitoreos adecuados durante todo el proceso de compostaje mediante el uso de dispositivos de Internet de las Cosas. Estos dispositivos permiten supervisar cada etapa del proceso en tiempo real, proporcionando datos críticos sobre las condiciones ambientales y el estado de los materiales en descomposición. Gracias a esta conectividad, es posible identificar rápidamente cualquier desviación de los parámetros óptimos, lo que permite realizar correcciones tempranas en caso de ser necesario.

Para lograr un adecuado entrenamiento de los sistemas de inteligencia artificial, actualmente se están utilizando datos térmicos, visuales y de humedad. Estos datos son esenciales para desarrollar algoritmos de aprendizaje automatizado que aseguren que el resultado final del proceso de compostaje sea el óptimo. La combinación de diferentes tipos de datos permite a los algoritmos aprender de manera más efectiva y hacer predicciones precisas sobre el comportamiento del compostaje. Por ejemplo, los datos térmicos ayudan a monitorear la actividad microbiana, mientras que la información visual ofrece datos relevantes sobre la textura y el estado del material.

Recomendaciones

Es crucial realizar estudios de manera proactiva para evaluar las posibles amenazas que pueden surgir a medida que aumenta la integración de la inteligencia artificial en los sistemas de compostaje automatizados. Esta evaluación anticipada es fundamental para identificar riesgos potenciales, como fallos tecnológicos, vulnerabilidades de seguridad cibernética y problemas de interoperabilidad entre dispositivos, pues la comprensión de estos desafíos, ayudaría a implementar estrategias de mitigación que prevengan daños y alteraciones en los sistemas de compostaje.

Es imperativo que los futuros estudios incluyan una evaluación exhaustiva de los protocolos de seguridad implementados en los sistemas de compostaje que integran inteligencia artificial. Esta evaluación debe analizar no solo la eficacia de las medidas de seguridad existentes, sino también la capacidad de adaptarse a nuevas amenazas y vulnerabilidades que puedan surgir con el avance de la tecnología. Además, es fundamental abordar la protección de los datos e información que se encuentran en estos sistemas, debido a que requieren estrictas medidas de

ciberseguridad para prevenir accesos no autorizados y garantizar la confidencialidad e integridad de la información.

Se recomienda llevar a cabo una investigación aplicada a la práctica con el objetivo de identificar los factores externos e internos que pueden afectar el proceso de compostaje, especialmente cuando se integra con inteligencia artificial. Esta investigación debe considerar variables como las condiciones ambientales, la calidad de los materiales orgánicos, y las interacciones humanas, así como los algoritmos y tecnologías empleadas. Al comprender cómo estos factores influyen en la eficacia del compostaje automatizado, se podrán desarrollar estrategias y protocolos que optimicen el proceso y minimicen cualquier impacto negativo.

Finalmente, se recomienda continuar con estudios sobre la integración de la inteligencia artificial en sistemas de compostaje, con el objetivo de explorar nuevas formas de optimizar el proceso, especialmente en el manejo de mayores volúmenes de materia orgánica. Investigaciones futuras podrían centrarse en el desarrollo de algoritmos más avanzados que manejen la variabilidad en las condiciones de compostaje, así como en la implementación de tecnologías emergentes que faciliten la automatización y el monitoreo en tiempo real.

Bibliografía:

- Alog, A., Amamio, K. A., Borejon, J. R., Padua, J. R., Lopez, D. J., Austria, Y., & Cuaresma, D. J. (2023). The Compostinator: An Automatic Community Composting Apparatus with Waste Segregation Using Object Detection. *2023 IEEE 15th International Conference on Humanoid, Nanotechnology, Information Technology, Communication and Control, Environment, and Management (HNICEM)*, 1–6.
<https://doi.org/10.1109/HNICEM60674.2023.10589175>
- Andeobu, L., Wibowo, S., & Grandhi, S. (2022). Artificial intelligence applications for sustainable solid waste management practices in Australia: A systematic review. In *Science of the Total Environment* (Vol. 834). Elsevier B.V.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.155389>

- Andrade Cruz, I., Chuenchart, W., Long, F., Surendra, K. C., Renata Santos Andrade, L., Bilal, M., Liu, H., Tavares Figueiredo, R., Khanal, S. K., & Fernando Romanholo Ferreira, L. (2022). Application of machine learning in anaerobic digestion: Perspectives and challenges. In *Bioresource Technology* (Vol. 345). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2021.126433>
- Ani, K. A., & Agu, C. M. (2022). Predictive comparison and assessment of ANFIS and ANN, as efficient tools in modeling degradation of total petroleum hydrocarbon (TPH). *Cleaner Waste Systems*, 3, 100052. <https://doi.org/10.1016/J.CLWAS.2022.100052>
- Aydın Temel, F., Cagcag Yolcu, O., & Turan, N. G. (2023). Artificial intelligence and machine learning approaches in composting process: A review. *Bioresource Technology*, 370. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2022.128539>
- Ayerbe, A. (2020). *La ciberseguridad y su relación con la inteligencia artificial*. <http://blogs.tecnalia.com/inspiring-blog/2020/03/12/los-datos-nunca->
- Bai, B., Wang, L., Guan, F., Cui, Y., Bao, M., & Gong, S. (2024). Prediction models for bioavailability of Cu and Zn during composting: Insights into machine learning. *Journal of Hazardous Materials*, 471. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2024.134392>
- Barnes, E., & Hutson, J. (2024). Natural Language Processing and Neurosymbolic AI: The Role of Neural Networks with Knowledge-Guided Symbolic Approaches. *DS Journal of Artificial Intelligence and Robotics*, 2(1), 1–13. <https://doi.org/10.59232/AIR-V2I1P101>
- Boniecki, P., Idzior-Haufa, M., Pilarska, A. A., Pilarski, K., & Kolasa-Wiecek, A. (2019). Neural classification of compost maturity by means of the Self-organising Feature Map artificial neural network and Learning vector Quantization algorithm. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 16(18). <https://doi.org/10.3390/ijerph16183294>
- Borole, A. S., Phadke, A. R., & Shah, P. J. (2023). Design and Development of Solar Powered Fully Automatic Biodegradable Waste Sorter and Composter. *2023 IEEE Engineering Informatics, EI 2023*. <https://doi.org/10.1109/IEEECONF58110.2023.10520560>
- Cao, Y., Wang, X., Misselbrook, T., Wang, R., Zheng, X., & Ma, L. (2023). Quantification of N and C cycling during aerobic composting, including automated direct measurement of N₂, N₂O, NO, NH₃, CO₂ and CH₄ emissions. *Science of The Total Environment*, 857, 159177. <https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2022.159177>
- Chavez Flores, J. E. D., Pacheco Guzmán, J. C. J., & Mendoza de los Santos, A. C. (2023). El papel de la inteligencia artificial en la seguridad de la información: una revisión de su aplicación en la industria cibernética. *Revista de Investigación de Sistemas e Informática*, 16(1), 71–80. <https://doi.org/10.15381/risi.v16i1.25390>
- Chen, L., He, P., Zhang, H., Peng, W., Qiu, J., & Lü, F. (2024). Applications of machine learning tools for biological treatment of organic wastes: Perspectives and challenges. In *Circular Economy* (Vol. 3, Issue 2). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.cec.2024.100088>

- Cheng, Y., Bi, X., Xu, Y., Liu, Y., Li, J., Du, G., Lv, X., & Liu, L. (2023). Artificial intelligence technologies in bioprocess: Opportunities and challenges. *Bioresource Technology*, 369. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2022.128451>
- Daliakopoulos, I., Daskalakis, G., Markakis, N., Papastefanakis, N., & Manios, T. (2019). Automatic Monitoring of a Community Backyard Composting Program. *Proceedings 2019*, Vol. 30, Page 45, 30(1), 45. <https://doi.org/10.3390/PROCEEDINGS2019030045>
- Del Rocío Calleja Reina, M. (2023). Artificial intelligence and its impact on intellectual property rights in Culture: challenges and threats. *Periferica Internacional*, 2023(24), 29–57. <https://doi.org/10.25267/Periferica.2023.i25.06>
- Diario Sustentable. (2017, February 24). *Compostaje automatizado: De desechos orgánicos a tierra fértil en 5 días - Diario Sustentable*. <https://www.diariosustentable.com/2017/02/compostaje-automatizado-desechos-organicos-tierra-fertil-5-dias/>
- Díaz, J. M. (2019). *Riesgos y vulnerabilidades de la denegación de servicio distribuidos en internet de las cosas*. www.bioeticayderecho.ub.edu
- Ding, S., Huang, W., Xu, W., Wu, Y., Zhao, Y., Fang, P., Hu, B., & Lou, L. (2022). Improving kitchen waste composting maturity by optimizing the processing parameters based on machine learning model. *Bioresource Technology*, 360. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2022.127606>
- Ding, S., Jiang, L., Hu, J., Huang, W., & Lou, L. (2023). Microbiome data analysis via machine learning models: Exploring vital players to optimize kitchen waste composting system. *Bioresource Technology*, 388. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2023.129731>
- Dogan, H., Aydın Temel, F., Cagcag Yolcu, O., & Turan, N. G. (2023). Modelling and optimization of sewage sludge composting using biomass ash via deep neural network and genetic algorithm. *Bioresource Technology*, 370. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2022.128541>
- Flores-Asis, R., Méndez-Contreras, J. M., Juárez-Martínez, U., Alvarado-Lassman, A., Villanueva-Vásquez, D., & Aguilar-Lasserre, A. A. (2018). Use of artificial neuronal networks for prediction of the control parameters in the process of anaerobic digestion with thermal pretreatment. *Journal of Environmental Science and Health - Part A Toxic/Hazardous Substances and Environmental Engineering*, 53(10), 883–890. <https://doi.org/10.1080/10934529.2018.1459070>
- Franganillo, J. (2022). Contenido generado por inteligencia artificial: oportunidades y amenazas. *Anuario ThinkEPI*, 16. <https://doi.org/10.3145/thinkepi.2022.e16a24>
- Gangopadhyay, S., & Zhai, A. (2022). CGBNet: A Deep Learning Framework for Compost Classification. *IEEE Access*, 10, 90068–90078. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2022.3201099>

- García Dávila, J., Santacruz Juárez, E., Sánchez Minutti, L., Ortega Sánchez, E., & Tellez Girón, J. D. (2024). Evaluación de propiedades fisicoquímicas de composta como producto de un dispositivo inteligente de degradación biológica. *RIDE Revista Iberoamericana Para La Investigación y El Desarrollo Educativo*, 14(28). <https://doi.org/10.23913/ride.v14i28.1910>
- Ghusale, V. S., Kukkar, T. A., Salve, B. R., Andhare, V. K., Zade, R. A., & Paithankar, D. N. (2023). Intelligent Systems for Testing the Compost of Multitype Organic Matter Using Different Type Models. *2023 4th International Conference on Computation, Automation and Knowledge Management (ICCAKM)*, 1–6. <https://doi.org/10.1109/ICCAKM58659.2023.10449558>
- González Trejo, C. A., & Julián Ortega, K. J. (2024). *LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL ARTIFICIAL INTELLIGENCE AND ITS INFLUENCE ON STUDENTS' ACADEMIC PERFORMANCE*.
- Guo, H. nan, Liu, H. tao, & Wu, S. (2022). Simulation, prediction and optimization of typical heavy metals immobilization in swine manure composting by using machine learning models and genetic algorithm. *Journal of Environmental Management*, 323. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.116266>
- Hassine, T. Ben. (2024). Internet of Intelligent Things (IoIT). *Https://Wjarr.Com/Sites/Default/Files/WJARR-2024-1816.Pdf*, 22(3), 1062–1066. <https://doi.org/10.30574/WJARR.2024.22.3.1816>
- Hu, Y., Kuang, W., Qin, Z., Li, K., Zhang, J., Gao, Y., Li, W., & Li, K. (2021). Artificial Intelligence Security: Threats and Countermeasures. *ACM Computing Surveys (CSUR)*, 55(1). <https://doi.org/10.1145/3487890>
- Huang, L. ting, Hou, J. yi, & Liu, H. tao. (2024a). Machine-learning intervention progress in the field of organic waste composting: Simulation, prediction, optimization, and challenges. *Waste Management*, 178, 155–167. <https://doi.org/10.1016/J.WASMAN.2024.02.022>
- Huang, L. ting, Hou, J. yi, & Liu, H. tao. (2024b). Machine-learning intervention progress in the field of organic waste composting: Simulation, prediction, optimization, and challenges. *Waste Management*, 178, 155–167. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2024.02.022>
- Hurtado, J. A., Antonelli, L., López, S., Gómez, A., Delle Ville, J., Maltempo, G., Zambrano, F. G., Solis, A., Camacho, M. C., Solinas, M., Kaplan, G., & Muñoz, F. (2024). Semiotics: An Approach to Model Security Scenarios for IoT-Based Agriculture Software. *TecnoLógicas*, 27(59), e2923. <https://doi.org/10.22430/22565337.2923>
- Jangsamsi, K. (2023). Conventional Machine Learning Approach for Waste Classification. *ACM International Conference Proceeding Series*, 7–12. <https://doi.org/10.1145/3639592.3639594>
- Jaramillo, P. (2023, September 12). *Crucial Compostaje para rescatar al Planeta: Cómo la IA y los Datos Pueden Ser la Solución – Matter*. <https://www.matter.ec/crucial-compostaje-para-rescatar-al-planeta-como-la-ia-y-los-datos-pueden-ser-la-solucion>

- Jhordany Serna Valdivia, E., & Mejia Miranda, J. (2020). Propuesta de un Agente Inteligente para el Manejo y Mitigación de Riesgos de Ciberseguridad en Entornos IoT. *Applications in Software Engineering - Proceedings of the 9th International Conference on Software Process Improvement, CIMPS 2020*, 158. <https://doi.org/10.1109/CIMPS52057.2020.9390153>
- Karthik Raghunath, K. M., & Kamalraj, R. (2022). Smart Manure Recommendation using Artificial Intelligence. *International Interdisciplinary Humanitarian Conference for Sustainability, IIHC 2022 - Proceedings*, 1122–1127. <https://doi.org/10.1109/IIHC55949.2022.10059621>
- Kitchenham, B., & Brereton, P. (2013). *A systematic review of systematic review process research in software engineering*. Information and Software Technology. <https://www-scopus-com.vpn.ucacue.edu.ec/record/display.uri?eid=2-s2.0-84885174213&origin=resultslist&sort=plf-f&src=s&sot=b&sdt=cl&cluster=scoprefnameuid%2C%22Kitchenham%2C+B.%237005427567%22%2Ct&s=TITLE-ABS-KEY%28Guidelines+for+performing+Systematic+Literature+Reviews+in+Software+Engineering.%29&sessionSearchId=bbe03df63e0ce67f2ae6b907f78d2d91&relpos=0>
- Li, Y., Xue, Z., Li, S., Sun, X., & Hao, D. (2023). Prediction of composting maturity and identification of critical parameters for green waste compost using machine learning. *Bioresource Technology*, 385. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2023.129444>
- Lopezosa, C. (2023). ChatGPT y comunicación científica: hacia un uso de la Inteligencia Artificial que sea tan útil como responsable. *Hipertext.Net*, 26, 17–21. <https://doi.org/10.31009/hipertext.net.2023.i26.03>
- Lutz, É., & Coradi, P. C. (2022). Applications of new technologies for monitoring and predicting grains quality stored: Sensors, Internet of Things, and Artificial Intelligence. In *Measurement: Journal of the International Measurement Confederation* (Vol. 188). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2021.110609>
- Mateo, J. F. (2022). ARTIFICIAL REALITY Exploring the Potential Threats of Artificial Intelligence. *VISUAL Review. International Visual Culture Review / Revista Internacional de Cultura*, 9(2), 235–247. <https://doi.org/10.37467/revvisual.v9.5004>
- Mekala, S. H., Baig, Z., Anwar, A., & Zeadally, S. (2023). Cybersecurity for Industrial IoT (IIoT): Threats, countermeasures, challenges and future directions. *Computer Communications*, 208, 294–320. <https://doi.org/10.1016/J.COMCOM.2023.06.020>
- Mohapatra, P., Pradhan, C., Kishore, S., Dash, H. K., & Mohanty, G. (2023). *Evaluation of Automated Portable Vermicomposting Bin*. 11. <https://doi.org/10.22214/ijraset.2023.53670>
- Moncks, P. C. S., Corrêa, K., L. C. Guidoni, L., Moncks, R. B., Corrêa, L. B., Lucia, T., Araujo, R. M., Yamin, A. C., & Marques, F. S. (2022). Moisture content monitoring in industrial-

- scale composting systems using low-cost sensor-based machine learning techniques. *Bioresource Technology*, 359. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2022.127456>
- Nguyen, X. C., Nguyen, T. T. H., La, D. D., Kumar, G., Rene, E. R., Nguyen, D. D., Chang, S. W., Chung, W. J., Nguyen, X. H., & Nguyen, V. K. (2021). Development of machine learning - based models to forecast solid waste generation in residential areas: A case study from Vietnam. *Resources, Conservation and Recycling*, 167. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2020.105381>
- Oazana, S., Naor, M., Grinshpun, J., Halachmi, I., Raviv, M., Saadi, I., Avidov, R., Varma, V. S., Rosenfeld, L., Gross, A., & Laor, Y. (2018). A flexible control system designed for lab-scale simulations and optimization of composting processes. *Waste Management*, 72, 150–160. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2017.11.029>
- Oke, O., & Cavus, N. (2024). *Artificial Intelligence for Computer Vision: Bibliometric Analysis*. <https://doi.org/10.21203/RS.3.RS-4098674/V1>
- Ortiz de Zárate Alcarazo, L. (2023). *Sesgos de género en la inteligencia artificial*. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8853265>
- Parsifal. (2024). *Planning · Security threats associated with the integration of artificial intelligence in automated composting systems*. <https://parsif.al/joxacana/security-threats-associated-with-the-integration-of-artificial-intelligence-in-automated-composting-systems/planning/protocol/>
- Patiño David, Dennis Rolando, Sánchez Galindo, & Edgar Alexander. (2021, May 18). *Las amenazas de seguridad a las que se enfrenta IoT y las soluciones en desarrollo - hdl:11349/29310*. <https://repository.udistrital.edu.co/handle/11349/29310>
- Patiño-Forero, A. A., Mendez, F., & Zuluaga, D. (2023). Automatización de una planta de compostaje. *I+ T+ C- Research, Technology and Science*, 1(17). <https://doi.org/10.57173/ritc.v1n17a7>
- Pinhal Luqueci Thomaz, I., Fernando Mahler, C., & Pereira Calôba, L. (2023). Artificial Intelligence (AI) applied to waste management: A contingency measure to fill out the lack of information resulting from restrictions on field sampling. *Waste Management Bulletin*, 1(3), 11–17. <https://doi.org/10.1016/j.wmb.2023.06.002>
- Postawa, K., Klimek, K., Maj, G., Kapłan, M., & Szczygieł, J. (2024). Advanced dual-artificial neural network system for biomass combustion analysis and emission minimization. *Journal of Environmental Management*, 349. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2023.119543>
- Pulido, I. G. (2023). *El uso de la inteligencia artificial generativa en la investigación de la ciberdelincuencia de género: ante el auge de los deepfakes** RESUMEN PALABRAS CLAVE IUS ET SCIENTIA 2023 • Vol. 9 • Nº 2 • ISSN 2444-8478 <https://editorial.us.es/es/revistas/ius-et-scientia> <https://dx.doi.org/10.12795/IETSCIENTIA> •

© Editorial Universidad de Sevilla 2023 CC BY-NC-ND 4.0.

<https://doi.org/10.12795/IETSCIENTIA>

- Rodríguez, J. (2023, October 21). *Inteligencia artificial y robots que aprovechan los residuos | Extra Infraestructuras | EL PAÍS*. Diario El País.
<https://elpais.com/extra/infraestructuras/2023-10-22/inteligencia-artificial-y-robots-que-aprovechan-los-residuos.html>
- Rosik, J., & Stegenta-Dąbrowska, S. (2024). *Optimizing the Composting Process Emissions – Process Kinetics and Artificial Intelligence Approach*.
<https://doi.org/10.20944/PREPRINTS202404.1828.V1>
- Rouhiainen, L. (2018). *Inteligencia artificial : 101 cosas que debes saber hoy sobre nuestro futuro*. Alienta.
- Salinas Osuna, E. Y., Anaconda Ortiz, J. D., Patiño Perdomo, O. F., & Millan Rojas, E. E. (2021). *Development of an Automatic Container and Sorter for Recyclable Material as a Circular Economy Strategy in the Educational Context* (Vol. 39).
- Serbaya, S. H. (2024). Waste management and water quality evaluation prediction in urban environments through advanced robust hybrid machine learning algorithms. *Dynamics of Atmospheres and Oceans*, 108. <https://doi.org/10.1016/j.dynatmoce.2024.101495>
- Sinduja, B., & Kumar, T. (2024). An Intelligent App-based System for Waste Segregation and Collection. *Procedia Computer Science*, 235, 2843–2856.
<https://doi.org/10.1016/j.procs.2024.04.269>
- Sprockel Diaz, J. J., Ramírez Rincón, A., & Jiménez-Canizales, C. E. (2023). Inteligencia artificial y aprendizaje automatizado, ¿oportunidad o amenaza? *Revista Colombiana de Endocrinología, Diabetes & Metabolismo*, 10(2). <https://doi.org/10.53853/encr.10.2.797>
- Suarez Prieto, J. (2018). *LOS BENEFICIOS DE LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL EN EL SECTOR EMPRESARIAL*.
<https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/12948/2018juliosuarez.pdf;jsessionid=D339FEE7F03A8BE5327D8E7717921D31?sequence=1>
- Taki, M., & Rohani, A. (2022). Machine learning models for prediction the Higher Heating Value (HHV) of Municipal Solid Waste (MSW) for waste-to-energy evaluation. *Case Studies in Thermal Engineering*, 31. <https://doi.org/10.1016/j.csite.2022.101823>
- Tarazona T., C. H. (2007). Amenazas Informaticas y Seguridad de la Informacion. *Derecho Penal y Criminologia*, 28.
<https://heinonline.org/HOL/Page?handle=hein.journals/dpenkrim28&id=465&div=&collection=>
- Tari, Z., Sohrabi, N., Samadi, Y., & Suaboot, J. (2023). Data Security Threats. *Data Exfiltration Threats and Prevention Techniques*, 31–61. <https://doi.org/10.1002/9781119898900.CH3>

- Tortosa, G. (2023, February 22). *Inteligencia artificial aplicada al compostaje – Compostando Ciencia*. <https://www.compostandociencia.com/2023/02/inteligencia-artificial-aplicada-al-compostaje/>
- Tsui, T. H., van Loosdrecht, M. C. M., Dai, Y., & Tong, Y. W. (2023). Machine learning and circular bioeconomy: Building new resource efficiency from diverse waste streams. In *Bioresource Technology* (Vol. 369). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2022.128445>
- V, Dr. D. K., K, A. H. S., A, A., & S, D. D. (2024). Organic Waste Composting Machine. *International Research Journal on Advanced Engineering Hub (IRJAEH)*, 2(02), 297–302. <https://doi.org/10.47392/IRJAEH.2024.0045>
- Walling, E., Trémier, A., & Vaneeckhaute, C. (2020). A review of mathematical models for composting. In *Waste Management* (Vol. 113, pp. 379–394). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2020.06.018>
- Wan, X., Li, J., Xie, L., Wei, Z., Wu, J., Wah Tong, Y., Wang, X., He, Y., & Zhang, J. (2022a). Machine learning framework for intelligent prediction of compost maturity towards automation of food waste composting system. *Bioresource Technology*, 365. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2022.128107>
- Wan, X., Li, J., Xie, L., Wei, Z., Wu, J., Wah Tong, Y., Wang, X., He, Y., & Zhang, J. (2022b). Machine learning framework for intelligent prediction of compost maturity towards automation of food waste composting system. *Bioresource Technology*, 365. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2022.128107>
- Wang, B., Zhang, P., Qi, X., Li, G., & Zhang, J. (2024). Predicting ammonia emissions and global warming potential in composting by machine learning. *Bioresource Technology*, 411. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2024.131335>
- Wang, N., Yang, W., Wang, B., Bai, X., Wang, X., & Xu, Q. (2024). Predicting maturity and identifying key factors in organic waste composting using machine learning models. *Bioresource Technology*, 400. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2024.130663>
- Woodiss-Field, A., Johnstone, M. N., & Haskell-Dowland, P. (2024). Examination of Traditional Botnet Detection on IoT-Based Bots. *Sensors 2024*, Vol. 24, Page 1027, 24(3), 1027. <https://doi.org/10.3390/S24031027>
- Zhang, Q., Yang, Q., Zhang, X., Wei, W., Bao, Q., Su, J., & Liu, X. (2022). A multi-label waste detection model based on transfer learning. *Resources, Conservation and Recycling*, 181. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2022.106235>