Use of IoT and RFID Technologies for Traceability and Production Optimization in Precision Livestock Farming

Fredy Moreno[1]; Monika Rivas[2]
Faculty Mentor: Rossana Carías, MSc[3]

[1,2,3] Universidad Nacional Autónoma de Honduras, Honduras, fdmoreno@unah.hn, *monika.rivas@unah.hn*, rossana_escoto@unah.edu.hn

Abstract– ***The incorporation of IoT and RFID technologies is transforming the livestock sector through continuous monitoring, animal identification, and automated information management. This research combined a bibliometric phase and an empirical phase. The first phase examined the evolution of scientific output, the main thematic trends, and collaboration patterns among authors. The results revealed moderate growth in publications, a thematic concentration around Precision Livestock Farming, sensors, and the Internet of Things, as well as a fragmented scientific community. The second phase enabled the identification of the UTAUT model, the adaptation of a research instrument to the Honduran livestock sector, and a preliminary assessment of its reliability. The pilot application reflected a favorable perception of the benefits associated with profitability, sustainability, and animal welfare, although it also indicated limited use of these technologies. The instrument showed favorable performance across most factors while identifying components requiring further revision. Overall, the findings reveal interest in adopting smart technologies, although their implementation remains constrained by economic, technical, and organizational barriers.***

Keywords-- Precision Livestock Farming, Internet of Things (IoT), Smart Traceability, Productive Optimization, RFID Technology.

Uso de Tecnologías IoT y RFID para la Trazabilidad y Optimización Productiva en el Sector Pecuario

Resumen– ***La incorporación de tecnologías IoT y RFID está transformando el sector pecuario mediante el monitoreo continuo, la identificación animal y la gestión automatizada de información. Esta investigación integró una fase bibliométrica y una fase empírica. La primera permitió analizar la evolución de la producción científica, las principales tendencias temáticas y las relaciones de colaboración entre los autores. Los resultados evidenciaron un crecimiento moderado de las publicaciones, una concentración temática alrededor de la ganadería de precisión, los sensores y el Internet de las Cosas, así como una comunidad científica fragmentada. La segunda fase permitió identificar el modelo UTAUT, adaptar un instrumento al contexto del sector pecuario hondureño y evaluar preliminarmente su confiabilidad. La aplicación piloto reflejó una percepción favorable de los beneficios relacionados con la rentabilidad, la sostenibilidad y el bienestar animal, aunque también mostró una utilización limitada de las tecnologías. La evaluación del instrumento presentó resultados favorables en la mayoría de los factores, pero identificó componentes que requieren revisión. En conjunto, los hallazgos muestran interés en la incorporación de tecnologías inteligentes, condicionado por barreras económicas, técnicas y organizacionales.***

Palabras clave-- Ganadería de Precisión, Internet de las Cosas (IoT), Trazabilidad Inteligente, Optimización Productiva, Tecnología RFID.

I. INTRODUCCIÓN

A. Producción pecuaria de precisión: fundamentos tecnológicos para la trazabilidad y optimización productiva

La producción pecuaria de precisión se define como un enfoque basado en el monitoreo automatizado y continuo de los animales para apoyar la gestión de la unidad productiva mediante información individualizada y en tiempo real [1]. Este enfoque integra modelos matemáticos, sensores y mecanismos de control que permiten relacionar las condiciones observadas con los resultados productivos esperados [2]. La literatura identifica su aplicación en el seguimiento de la salud, la alimentación, la reproducción, el comportamiento y las condiciones ambientales de las instalaciones pecuarias [3]. Asimismo, su incorporación permite mejorar la capacidad de manejar grupos numerosos de animales y responder a las exigencias de eficiencia, rentabilidad y bienestar animal [4].

El Internet de las Cosas o IoT permite conectar sensores, dispositivos y plataformas digitales para recolectar, transmitir y analizar información procedente de los animales y su entorno [2]. Según los autores en [5], los dispositivos portables pueden generar datos dinámicos sobre variables fisiológicas y conductuales, aunque su diseño debe considerar la biocompatibilidad, resistencia y sostenibilidad. En zonas rurales, las redes de bajo consumo y largo alcance, como LoRa LPWAN, facilitan el monitoreo continuo a pesar de las distancias existentes entre los animales y los puntos de comunicación [6]. Estas aplicaciones también permiten establecer zonas geográficas seguras, rastrear desplazamientos y supervisar animales en pastoreo mediante IoT, GPRS y GPS [7] [8].

La Tecnología de Identificación por Radiofrecuencia (RFID) utiliza etiquetas electrónicas, lectores y sistemas informáticos para asignar una identidad digital a cada animal y vincularla con sus registros productivos y sanitarios [9]. Mediante esta identificación pueden registrarse eventos relacionados con el nacimiento, vacunación, alimentación, tratamientos, movimientos y comercialización del animal [9]. La aplicación de RFID en la cadena bovina y cárnica facilita el intercambio de información entre productores, procesadores, distribuidores y puntos de venta, fortaleciendo la continuidad de la trazabilidad [9]. Los autores en [10] explican que un sistema de trazabilidad debe identificar las unidades productivas, registrar sus movimientos y relacionar los datos generados durante las diferentes etapas de la cadena. La integración de IoT con blockchain también puede incrementar la seguridad, transparencia e integridad de los registros pecuarios [11].

La utilidad de la información tecnológica depende de que los datos procedentes de diferentes dispositivos puedan integrarse y compartirse entre plataformas [12]. Los estándares interoperables permiten relacionar información de identificación, ubicación, salud y producción, evitando que los datos permanezcan fragmentados en sistemas incompatibles [12]. La visión computacional también puede complementar la identificación mediante el reconocimiento individual de bovinos a partir de imágenes y modelos de detección automatizada [13]. En consecuencia, RFID proporciona la identificación electrónica, IoT permite transmitir los datos y la interoperabilidad facilita su utilización conjunta dentro de la gestión productiva [9] [12].

Los sistemas IoT pueden fortalecer el control sanitario mediante el registro de variables como movimiento, temperatura corporal y frecuencia cardiaca [14]. Las arquitecturas basadas en la nube permiten almacenar y procesar grandes cantidades de datos, además de incorporar progresivamente nuevos sensores y animales [15]. En instalaciones porcinas, el procesamiento de datos ambientales puede apoyar el control del entorno térmico y mejorar las condiciones de bienestar animal [16]. La combinación de IoT,

inteligencia artificial, computación en la nube y procesamiento en el borde también permite generar respuestas más rápidas ante alteraciones sanitarias o productivas [17]. Estas herramientas apoyan la toma de decisiones, pero requieren datos confiables y sistemas capaces de convertir las mediciones en recomendaciones comprensibles para el productor [1].

La implementación tecnológica supone costos relacionados con sensores, etiquetas, lectores, conectividad, plataformas digitales, capacitación y mantenimiento [10]. Frente a esta inversión, IoT y RFID pueden reducir errores de identificación, facilitar la detección temprana de enfermedades y mejorar el aprovechamiento de los recursos productivos [2]. La integración de tecnologías también puede contribuir a la rentabilidad, eficiencia operativa, sostenibilidad y capacidad de monitorear el bienestar animal [4]. No obstante, los beneficios económicos dependen de la escala productiva, la confiabilidad de los dispositivos y la capacidad del productor para utilizar la información generada [10] [18]

B. Factores que influyen en la adopción de tecnologías inteligentes en el sector ganadero

La disponibilidad de una tecnología no garantiza que los productores decidan incorporarla o utilizarla de manera permanente [19]. La aceptación del usuario constituye una condición esencial para que los productos inteligentes generen mejoras en la gestión productiva y el bienestar animal [19]. Las actitudes de los productores pueden variar según la utilidad percibida, el esfuerzo esperado, la confianza, la influencia social y la preparación tecnológica de las fincas [19]. En el estudio en [20], la capacidad del productor influye positivamente en el uso de tecnologías de precisión, mientras que los costos elevados pueden limitar su implementación. La adopción depende, por tanto, de la interacción entre los beneficios esperados, las capacidades del usuario y las condiciones disponibles en la unidad productiva [20].

La utilidad percibida se relaciona con la expectativa de que la tecnología mejore la rentabilidad, reduzca el tiempo de trabajo y facilite el control de los animales [19]. La facilidad de uso comprende el esfuerzo necesario para aprender, operar y mantener los dispositivos dentro de las actividades productivas habituales [19]. Los costos de adquisición, instalación, conectividad y mantenimiento pueden actuar como barreras, especialmente cuando los beneficios económicos no son inmediatos o verificables [20]. La asequibilidad, las limitaciones de infraestructura, la brecha de habilidades y la insuficiencia de políticas de apoyo también restringen la adopción entre pequeños productores [18].

La resistencia al cambio puede relacionarse con la incertidumbre sobre el funcionamiento, la rentabilidad y la confiabilidad de las tecnologías inteligentes [19]. La confianza aumenta cuando el sistema funciona de manera estable, proporciona información comprensible y cuenta con mecanismos adecuados para proteger los datos productivos [19]. La falta de conocimiento sobre los beneficios y la limitada coordinación entre los participantes de la cadena también dificultan la adopción de tecnologías avanzadas de trazabilidad [10]. Por consiguiente, las pruebas piloto, la comunicación de resultados y el acompañamiento técnico pueden reducir la percepción de riesgo y facilitar la incorporación progresiva de estas herramientas [18]

La capacitación debe incluir el manejo de los dispositivos, la interpretación de los datos y la respuesta adecuada ante las alertas generadas por el sistema [18]. La adopción también requiere disponibilidad de energía, conectividad, equipos compatibles y condiciones físicas adecuadas para proteger los dispositivos [19]. La existencia de productores interesados que no cuentan con infraestructura suficiente demuestra que una actitud favorable no siempre se convierte en uso efectivo [19]. El soporte técnico debe abarcar instalación, mantenimiento, reparación y atención oportuna de las fallas que puedan interrumpir la recolección de datos [19]. La colaboración entre productores, proveedores, investigadores y responsables de políticas públicas favorece el desarrollo de soluciones accesibles y adaptadas a las condiciones rurales [18].

La Teoría Unificada de Aceptación y Uso de Tecnología o UTAUT permite organizar los factores relacionados con la intención y el comportamiento de uso de tecnologías inteligentes [19]. El modelo considera la expectativa de desempeño y esfuerzo, la influencia social y las condiciones facilitadoras como dimensiones centrales de la aceptación tecnológica [19]. La expectativa de desempeño comprende los beneficios productivos, sanitarios y económicos que el productor espera obtener mediante IoT, RFID y sistemas de monitoreo [19]. La expectativa de esfuerzo se relaciona con la facilidad de aprendizaje y operación, mientras que la influencia social incorpora las opiniones de familiares, productores, técnicos y otros actores del entorno [19]. Las condiciones facilitadoras incluyen la conectividad, capacitación, compatibilidad, infraestructura y asistencia técnica necesarias para utilizar la tecnología [19]. Por ello, UTAUT resulta pertinente para explicar la diferencia entre reconocer los beneficios de una tecnología, manifestar intención de adoptarla y utilizarla efectivamente en los procesos pecuarios [19] [20].

II. METODOLOGÍA

A. Diseño y desarrollo del análisis bibliométrico

La investigación se desarrolla a través de una revisión bibliométrica bajo un enfoque mixto y una perspectiva pragmática. Los métodos bibliométricos, bajo un enfoque cuantitativo, constituyen una técnica de análisis documental para describir, evaluar y monitorear la investigación publicada [21]. Para ello, se emplearon metodologías propias del campo de la bibliometría, junto con fundamentos teóricos de la producción científica, como las leyes de Price, Zipf, Lotka y Bradford.

Para la recuperación de registros científicos se utilizó Publish or Perish como herramienta de apoyo para la búsqueda de literatura, esta permite obtener citas originales, analizarlas y

presentar diversas métricas de citación [22]. La estrategia de búsqueda se estructuró mediante la ecuación: "Precision Livestock Farming" AND "Internet of Things (Iot)" AND "Smart Traceability" AND "Productive Optimization" AND "RFID Technology". Como resultado, se recuperó un corpus bibliométrico inicial de 1000 registros. Para la elaboración de los mapas bibliométricos se utilizó el software VOSviewer, desarrollado para construir y visualizar redes de análisis bibliométrico [23], esta herramienta permitió analizar la co-ocurrencia de palabras clave, los clústeres de autores y la evolución de términos relevantes.

Posteriormente, se realizó la depuración y normalización de los registros mediante criterios de selección. Se incluyeron artículos de revista publicados entre 2015 y 2025, relacionados con IoT, RFID, trazabilidad, optimización productiva y aplicaciones pecuarias, y asociados con revistas indexadas en Scopus o Web Of Science. Se descartaron libros, capítulos, actas de congresos, contenido publicado no científico y registros que no correspondieran con el alcance temático. Primero, el filtro aplicado en Excel conservó únicamente artículos de revista, reduciendo la base a 381 registros. Luego, se verificó la clasificación de las revistas en Scimago Journal & Country Rank y Master Journal List, conservando publicaciones asociadas con Scopus o Web of Science y categorizadas en Q1, Q2, Q3 o Q4, con lo cual se obtuvieron 121 artículos. Finalmente, se revisaron los títulos, resúmenes y palabras clave, permitió conformar un corpus de 67 artículos.

Se completó el análisis mediante las leyes bibliométricas, con el propósito de aportar dimensionalidad a la revisión de artículos. En primer lugar, Price (1973), plantea que el crecimiento exponencial enuncia que la ciencia crece a interés compuesto [24]. Esta ley permite analizar la evolución temporal de las publicaciones y valorar si el interés académico sobre los sistemas pecuarios inteligentes y las tecnologías emergentes ha aumentado durante el periodo de estudio. Por otra parte, Zipf (1949), expone un modelo matemático sobre la frecuencia de aparición de palabras en un texto, mostrando la tendencia humana a inclinarse más por el mínimo esfuerzo mediante el uso de palabras conocidas [25]. En el análisis bibliométrico, esta ley permite identificar los términos más recurrentes y conceptualmente relevantes dentro de los registros analizados.

Asimismo, Lotka (1926), describe un modelo de regresión no lineal que relaciona el número de autores con su productividad [24]. Desde esta perspectiva, la ley de Lotka ayuda a determinar si la producción científica del área está concentrada en grupos reducidos de investigadores o existe una distribución más amplia. Finalmente, Bradford (1934) plantea que, la mayor parte de los artículos sobre un tema específico aparecen en las revistas dedicadas a la materia de la cual esta forma parte, junto con ciertas revistas de áreas afines y algunas de las publicaciones periódicas más generales [26]. En este sentido, la Ley de Bradford resulta útil para identificar las fuentes más relevantes en el campo de estudio vinculado con tecnologías IoT, RFID y el sector pecuario de precisión.

Una vez concluida la fase de construcción del conjunto de publicaciones analizadas, la investigación incorporó una segunda etapa orientada a la búsqueda y selección del modelo base y del instrumento de recolección de datos, lo que permitió enlazar los resultados de la revisión bibliométrica con una aplicación empírica posterior. A partir de los 67 artículos especializados que conformaron la muestra final, se seleccionaron 20 artículos que poseen relevancia temática y tecnológica, lo que permitió delimitar la búsqueda del modelo a 4 artículos ajustados al enfoque teórico requerido para la investigación. Este proceso culminó en la selección de un artículo base que contiene el instrumento de encuesta adaptable al contexto del sector pecuario hondureño.

B. Diseño y aplicación del instrumento

La segunda fase se desarrolló bajo un enfoque cuantitativo, con alcance descriptivo y un diseño no experimental de corte transversal. Se consideró no experimental debido a que las variables no fueron manipuladas, sino observadas a partir de las respuestas proporcionadas por los participantes; asimismo, fue de corte transversal porque la información se recopiló en un único momento del estudio. Para orientar el análisis empírico, se definió como variable independiente el uso de tecnologías IoT y RFID, mientras que la trazabilidad inteligente, el monitoreo sanitario y la optimización de los procesos productivos se establecieron como variables dependientes. Estas relaciones se establecieron como proposiciones para orientar una etapa posteior de investigación, en la que una muestra de mayor tamaño permitirá evaluar estadísticamente la relación entre el uso de tecnologías IoT y RFID, trazabilidad inteligente, el monitoreo sanitario y la optimización productiva.

Esta etapa tuvo como propósito realizar una valoración preliminar de la aceptación y utilización de tecnologías inteligentes, así como evaluar la consistencia interna del instrumento adaptado. Para el desarrollo de la segunda fase se recurrió a la utilización de datos primarios, debido a que la revisión bibliométrica permitió identificar las tendencias científicas, los modelos teóricos y los instrumentos empleados en estudios anteriores, pero no proporcionó información directa sobre la percepción de las personas vinculadas con el sector pecuario hondureño. Para la prueba piloto se seleccionó una muestra de 15 participantes mediante un muestreo no probabilístico intencional, considerando como criterio de inclusión su conocimiento, experiencia o cercanía con las actividades del sector. Debido al carácter exploratorio y piloto de esta aplicación y al tamaño de la muestra, los resultados no permiten generalizarse al sector pecuario hondureño ni establecer relaciones estadísticas entre las variables. Su finalidad fue evaluar preliminarmente la compresión, funcionamiento y consistencia interna del instrumento antes de una aplicación de mayor alcance, mediante el coeficiente de confiabilidad Alfa de Cronbach, utilizado para estimar la consistencia interna de una escala, al valorar la relación común entre los ítems que la conforman [27]. Para realizar este análisis se utilizó IBM SPSS Statistics,

un software diseñado específicamente para efectuar análisis estadísticos [28]. De esta manera, la metodología propuesta integró una fase bibliométrica y una fase empírica complementaria.

III. RESULTADOS

A. Análisis bibliométrico de la producción científica

La primera fase de resultados se centra en el análisis bibliométrico y los hallazgos derivados del proceso de recolección del corpus documental. En primer lugar, se analiza la evolución de la producción científica del corpus documental final, con el objetivo de identificar las tendencias de crecimiento en la comunidad científica durante el periodo 2015-2025. La Figura 1 presenta un gráfico de regresión que muestra una tendencia general ascendente, aunque con variaciones entre los años.

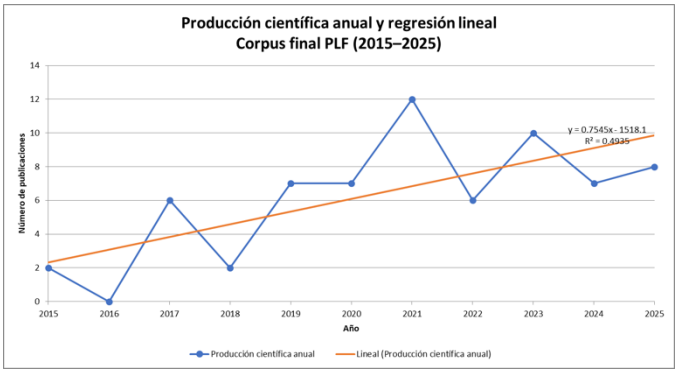


Fig. 1 Evolución de la producción científica del corpus final sobre IoT y RFID aplicados a la trazabilidad y optimización productiva en la ganadería de precisión, 2015–2025. (Nota: Elaboración propia)

La línea de regresión indica que la cantidad de publicaciones aumenta, en promedio, 0.75 artículos por año. El coeficiente de determinación (R^2=0,4935) refleja una explicación moderada de la variación observada en el número de publicaciones anuales. Desde la perspectiva de la Ley de Price (1963), se observa una tendencia ascendente durante el periodo analizado; sin embargo, la evaluación formal de su comportamiento exponencial requiere contrastar el ajuste lineal utilizado con un modelo exponencial. Por ello, los resultados actuales permiten describir una tendencia creciente, pero no confirmar por sí solos un crecimiento exponencial.

El segundo análisis, como se muestra en la Figura 2, es basado en las palabras claves y su co-ocurrencia, lo que permite diferenciar los términos con mayor presencia y relación temática, así como los vínculos existentes entre ellos.

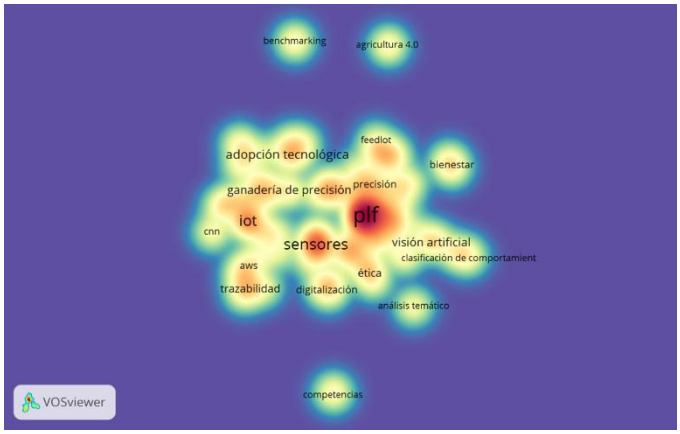


Fig. 2 Mapa de densidad de palabras clave en la producción científica sobre IoT, RFID y ganadería de precisión (Nota: Elaboración propia)

Los resultados muestran que, dentro del corpus analizado, los términos con mayor concentración son “PLF”, “sensores” e “IoT”, vinculados a “ganadería de precisión” y “adopción tecnológica”. Este gráfico constituye un excelente ejemplo de la Ley de Zipf (1949), ya que demuestra que un grupo reducido de términos concentra la mayor relevancia temática, mientras que otros conceptos aparecen de forma más dispersa y sugieren líneas complementarias o emergentes. Esto confirma que la alineación del tema de investigación se encuentra en los espacios de concentración relevantes y no en la periferia de las rutas temáticas de búsqueda. La figura 3 presenta un mapa de autores prolíficos que permite visualizar la distribución de los investigadores identificados en el corpus final.

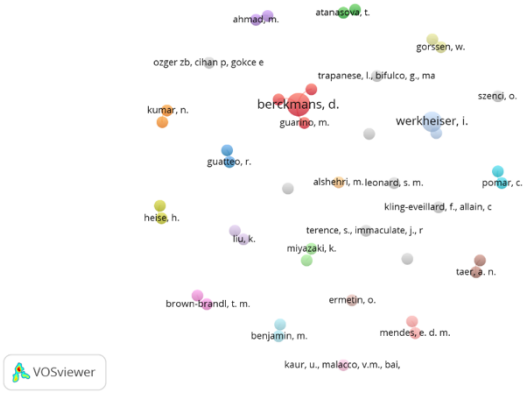


Fig. 3 Mapa de autores prolíficos y relaciones de coautoría por clúster en la literatura sobre IoT, RFID y ganadería de precisión (Nota: Elaboración propia)

Desde la perspectiva de la Ley de Lotka (1926), esto sugiere que la productividad científica no está distribuida de manera igualitaria, ya que pocos autores concentran una mayor proporción de la producción. La baja cohesión de la red confirma que la investigación en ganadería de precisión se desarrolla en comunidades cerradas o equipos reducidos. Concluido el análisis dimensional del corpus documental basado en las leyes bibliométricas, se seleccionaron 20 artículos mediante criterios de relevancia temática y tecnológica, considerando su correspondencia con Iot, RFID,

trazabilidad, optimización productiva y adopción tecnológica. Esta selección permitió delimitar posteriormente cuatro publicaciones alineadas con el enfoque teórico requerido, y finalmente, un artículo base que contenía el instrumento utilizado en la fase empírica. La selección de los 20 artículos no se interpretó como una aplicación directa de la Ley de Bradford (1934), que plantea que las fuentes más relevantes para un campo de estudio se concentran en nichos reducidos, y su evaluación formal requiere analizar la distribución de artículos entre las fuentes o revistas del corpus.

La identificación de los artículos con mayor relevancia temática permitió delimitar el modelo base en cuatro publicaciones mediante un método de embudo. En este proceso se filtraron 16 artículos que no se alineaban al enfoque teórico de la investigación. El análisis bibliométrico facilitó la identificación del modelo base de la Teoría Unificada de Aceptación y Uso de Tecnología, un marco de referencia esencial para comprender los procesos de adopción tecnológica en diversos ámbitos [29]. Finalmente, se encontró en una de las publicaciones el instrumento que se empleará en la fase 2 de esta investigación, lo que permitirá adaptarlo al contexto del sector pecuario hondureño y evaluar su confiabilidad mediante el coeficiente alfa de Cronbach (1951).

B. Análisis de los resultados de la encuesta aplicada a fincas pecuarias

La base teórica que sustenta esta segunda fase se tomó como referencia de un estudio aplicado en Alemania, cuyos autores señalan que la aceptación de los usuarios constituye un requisito importante para la adopción de tecnologías inteligentes [19]. Mediante una encuesta, el estudio original buscó las actitudes y el nivel de aceptación del sector frente a las tecnologías emergentes, dado que la información existente sobre este tema era limitada. Este propósito se relaciona directamente con el interés de la presente investigación por conocer la percepción de los productores hondureños. Por ello, se tomó como referencia el cuestionario elaborado a partir de una versión ampliada del modelo UTAUT, orientado al análisis de la aceptación y utilización de la tecnología.

Para los fines de esta investigación, se trabajó con una muestra piloto de 15 participantes, con el objetivo de evaluar la confiabilidad y consistencia interna del instrumento adaptado al contexto del sector pecuario hondureño. En consecuencia, esta aplicación no pretende generalizar los resultados a toda la población, sino identificar la coherencia de los ítems y posibles ajustes antes de una aplicación posterior de mayor alcance. El cuestionario quedó estructurado en ocho factores. Aunque el estudio original identificó siete, los ítems fueron reorganizados para diferenciar dimensiones conceptualmente distinguibles en el contexto de esta investigación, particularmente la confianza en la tecnología y los proveedores y la frecuencia de uso. Esta reorganización constituye una adaptación preliminar que deberá validarse mediante una muestra mayor. La encuesta final se compuso de una sección inicial destinada a obtener el consentimiento de los participantes y recopilar información demográfica básica; una segunda sección integrada por 33 enunciados valorados mediante escala Likert de cinco puntos, en la que las medias más cercanas a cinco reflejan un mayor nivel de aceptación o acuerdo; y una sección final orientada a recopilar información adicional sobre las tecnologías consideradas de mayor utilidad y las principales dificultades percibidas para su implementación. Estas preguntas permitieron realiza un sondeo inicial dentro de la muestra piloto, con el propósito de obtener una aproximación a la situación tecnológica de las fincas y reconocer algunas de las barreras que pueden presentarse al actualizar u optimizar sus procesos mediante nuevas tecnologías.

Una vez organizado el instrumento en ocho factores y sometido a un proceso de revisión interna, se recopilaron las respuestas y los datos fueron organizados y procesados en Microsoft Excel y se procedió a su análisis mediante el cálculo de la media, la desviación estándar y el coeficiente alfa de Cronbach. La media permitió identificar la tendencia general de las respuestas en cada factor; la desviación estándar mostró el grado de dispersión de las respuestas respecto a la media; y el coeficiente alfa de Cronbach se utilizó para evaluar la consistencia interna de los ítems que integran cada factor. Con el propósito de presentar estos resultados de manera integrada, la Tabla 1 resume el número de ítems, la media, la desviación estándar, el coeficiente alfa de Cronbach y la interpretación correspondiente para cada uno de los ocho factores.

Tabla 1 Estadísticos descriptivos y confiabilidad del instrumento por factor (Nota: Elaboración propia)

Factor	No. De Ítems	Media	Desviación Estándar	Alfa de Cronbach
Utilidad Percibida y eficiencia	5	3,85	1,26	0,891
Rentabilidad, sostenibilidad y bienestar animal	6	4,06	1,04	0,906
Influencia social y percepción del entorno	2	3,93	1,37	0,984
Facilidad de uso y esfuerzo percibido	3	3,51	1,03	0,639
Confianza en la tecnología y en los proveedores	3	3,60	0,80	0,172
Condiciones técnicas de la finca	5	3,15	1,24	0,887
Intención de uso y uso actual	5	3,83	1,02	0,849
Frecuencia de uso de tecnologías	4	2,97	1,09	0,683

Los resultados muestran una percepción generalmente favorable hacia la incorporación de tecnologías inteligentes. La rentabilidad, sostenibilidad y bienestar animal presentó la media más alta, con 4,06, mientras que la frecuencia de uso obtuvo la más baja, con 2,97. Esta diferencia indica que los

participantes reconocen los beneficios potenciales de las tecnologías, aunque su utilización continúa siendo limitada. La desviación estándar más baja correspondió a confianza en la tecnología y en los proveedores, con 0,80, mientras que influencia social y percepción del entorno presentó la mayor variabilidad, con 1,37. Los demás factores mostraron una dispersión moderada. La Figura 4 permite comparar las medias y desviaciones estándar obtenidas.

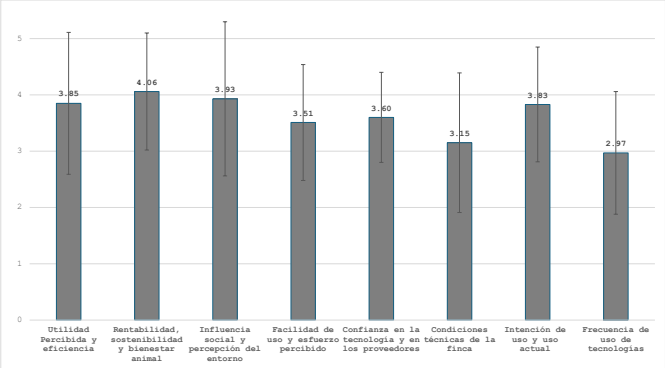


Fig. 4 Media y desviación estándar de los factores evaluados en el instrumento (Nota: Elaboración propia)

En las preguntas complementarias, los sistemas de control de alimentación o agua y los sensores de salud o comportamiento animal fueron las tecnologías consideradas de mayor utilidad, señaladas en cada caso por cuatro de los quince participantes (26,7%). Por su parte, el costo de adquisición fue identificado como la principal dificultad para implementar tecnologías inteligentes, seleccionado por ocho participantes (53,3%), seguido por la falta de internet o señal móvil, mencionada por tres participantes (20%). Los comentarios adicionales también reflejaron preocupaciones relacionadas con la capacitación, la adaptación del personal y el cuidado adecuado de los dispositivos tecnológicos.

Respecto a la confiabilidad, el factor rentabilidad, sostenibilidad y bienestar animal obtuvo un alfa de Cronbach de 0,906, considerado excelente. Asimismo, utilidad percibida y eficiencia alcanzó un valor de 0,891; condiciones técnicas de la finca, 0,887; e intención de uso y uso actual, 0,849, lo que evidencia niveles favorables de consistencia interna. El factor influencia social y percepción del entorno presentó el valor más alto, con 0,984; sin embargo, este resultado debe interpretarse con precaución, debido a que está compuesto únicamente por dos ítems y puede reflejar una elevada similitud entre ellos. Por otra parte, facilidad de uso y esfuerzo percibido obtuvo un alfa de 0,639, mientras que frecuencia de uso de tecnologías alcanzó 0,683. Aunque ambos valores se encuentran por debajo del nivel de referencia de 0,70, pueden considerarse próximos a un nivel aceptable dentro de una aplicación piloto.

En contraste, confianza en la tecnología y en los proveedores registró un alfa de 0,172, lo que evidencia una consistencia interna muy baja y señala la necesidad de revisar la redacción, orientación y relación entre los ítems que conforman este factor. En conjunto, los resultados muestran una valoración favorable de los posibles beneficios asociados con las tecnologías inteligentes, aunque también revelan una frecuencia de uso todavía reducida y la necesidad de realizar ajustes en determinados componentes del instrumento. Debido al carácter piloto de la aplicación y al tamaño de la muestra, estos hallazgos deben interpretarse como una valoración preliminar de la confiabilidad del cuestionario adaptado al contexto del sector pecuario hondureño.

IV. DISCUSIÓN

A. Hallazgos del análisis bibliométrico

Los resultados del análisis bibliométrico muestran que la producción científica relacionada con la aplicación de tecnologías IoT y RFID en el sector pecuario ha mantenido una tendencia ascendente durante el periodo 2015-2025, aunque con variaciones entre los años y sin alcanzar un crecimiento plenamente exponencial. Este comportamiento permite interpretar que se trata de un campo de investigación todavía en proceso de consolidación, cuyo desarrollo ha sido favorecido por el avance de los sensores, los sistemas de comunicación y las herramientas digitales aplicadas al monitoreo animal. La tendencia identificada guarda relación con los estudios anteriores sobre el desarrollo de tecnologías inteligentes aplicadas al sector pecuario como se menciona en las referencias [1], [2] y [3]. Estos estudios destacan el crecimiento de las aplicaciones tecnológicas destinadas a recopilar información, controlar variables productivas y apoyar la toma de decisiones en los sistemas pecuarios.

La concentración de los términos “PLF”, “sensores” e “IoT” en el mapa de palabras clave muestra que la literatura se orienta principalmente hacia el monitoreo continuo, la recolección automatizada de datos y el control en tiempo real. Este hallazgo coincide con las referencias [5] y [14], quienes resaltan el uso de dispositivos conectados para supervisar variables relacionadas con la salud, el comportamiento y el bienestar animal, y presentan un sistema IoT basado en servicios en la nube para el monitoreo sanitario. Por tanto, la recurrencia de estos términos refleja que el desarrollo científico del campo se ha concentrado especialmente en tecnologías capaces de generar información útil para mejorar la gestión y anticipar posibles problemas dentro de las unidades productivas.

Aunque los conceptos relacionados con RFID y trazabilidad presentan una concentración menor que Iot y sensores, esto no reduce su importancia dentro del campo estudiado. Más bien, sugiere que constituyen líneas de investigación más específicas, vinculadas con la identificación individual, el seguimiento de los animales y el control de la información a lo largo de la cadena productiva. Se demuestra la utilidad de la tecnología RFID para estructurar sistemas de trazabilidad en la cadena de producción bovina [9], y se señala que la integración de tecnologías digitales puede fortalecer la transparencia, la seguridad y el seguimiento de los productos pecuarios [10]. Estos antecedentes respaldan la pertenencia de

continuar estudiando la aplicación de RFID como complemento de los sistemas IoT orientados al monitoreo.

Por otra parte, la organización de la red de autores en clústeres independientes evidencia una producción científica fragmentada, desarrollada principalmente por grupos especializados con una conexión limitada entre sí. Una posible explicación radica en el carácter interdisciplinario del campo, ya que las investigaciones abarcan arquitecturas IoT, computación en la nube, inteligencia artificial, blockchain, visión computacional, sensores portables y sistemas de geolocalización. Esta diversidad puede favorecer la formación de equipos concentrados en aplicaciones concretas, como plantean los autores sobre arquitecturas escalables [15], combinación de blockchain e IoT [11], y la identificación animal mediante visión computacional [13]. Sin embargo, una mayor colaboración entre estas comunidades podría facilitar el desarrollo de soluciones integradas que combinen monitoreo, identificación, trazabilidad y optimización productiva.

La delimitación progresiva de los artículos también permitió observar que una parte importante de la literatura se concentra en el desarrollo y funcionamiento técnico de las tecnologías, mientras que un grupo más reducido estudia la percepción de los productores y las condiciones que influyen en su adopción. Esta diferencia resulta relevante porque la disponibilidad de una tecnología no garantiza necesariamente su implementación efectiva en las fincas. La aceptación de los usuarios constituye un requisito importante para incorporación de productos inteligentes [19], asimismo los factores relacionados con la percepción, las oportunidades disponibles y las condiciones productivas influyen en la intención de utilizar estas herramientas [20]. En consecuencia, los hallazgos bibliométricos justifican la incorporación de una segunda fase orientada a analizar la aceptación tecnológica desde la perspectiva de los posibles usuarios.

La revisión se demilitó al periodo 2015-2025 y a artículos de revista verificados en fuentes asociadas con Scopus o Web of Science. Si bien estos criterios permitieron trabajar con publicaciones de calidad editorial reconocida, también descarto estudios regionales, informes técnicos y experiencias productivas no indexadas. Asimismo, las diferencias en las palabras clave utilizadas por los autores pueden provocar que investigaciones relacionadas aparezcan separadas dentro de las redes bibliométricas. Por ello, estudios posteriores podrían ampliar las bases consultadas e incorporar literatura regional para obtener una visión más completa de la aplicación y aceptación de estas tecnologías en contextos latinoamericanos.

En este sentido, la identificación del modelo UTAUT y del instrumento utilizado en la ref. [19] constituye uno de los principales aportes metodológicos de la fase bibliométrica. Su selección permitió vincular las tendencias tecnológicas encontradas en la literatura con factores humanos y organizacionales como la utilidad percibida, la facilidad de uso, la influencia social, la confianza y las condiciones facilitadoras. De esta manera, la revisión no se limitó a reconocer las tecnologías existentes, sino que proporcionó una base para adaptar un instrumento al contexto del sector pecuario hondureño y evaluar preliminarmente las condiciones que podrían favorecer o limitar su adopción.

B. Aceptación tecnológica y confiabilidad del instrumento

A partir de la aplicación del instrumento adaptado, fue posible identificar una valoración generalmente favorable hacia la incorporación de tecnologías inteligentes en las fincas pecuarias, principalmente por los beneficios asociados con la rentabilidad, la sostenibilidad y el bienestar animal. Esto indica que los participantes valoran especialmente aquellas herramientas que pueden generar mejoras visibles en el desempeño productivo, el aprovechamiento de los recursos y el monitoreo de los animales. La valoración positiva de los beneficios operativos y del bienestar animal asociados con los productos inteligentes también ha sido identificada en estudios previos [19]. De igual manera, el bienestar animal se reconoce como uno de los factores que pueden favorecer la adopción de tecnologías aplicadas a la producción pecuaria de precisión [20].

Sin embargo, la valoración favorable de la utilidad y la intención de uso contrasta con la menor frecuencia de utilización de estas tecnologías. Esta diferencia sugiere que reconocer los posibles beneficios no necesariamente se traduce en una implementación inmediata dentro de las fincas. Se Encontró una situación similar entre los productores porcinos de Estados Unidos, donde el conocimiento sobre tecnologías como RFID, sistemas de alimentación electrónica y básculas era elevado, pero solo una parte de los participantes las utilizaba, aunque varios de los no usuarios manifestaban disposición para adoptarlas en el futuro [20]. Por lo tanto, la aceptación representa una condición importante, pero debe acompañarse de capacidades, recursos y oportunidades que permitan transformar la intención de uso en una aplicación efectiva.

Las condiciones técnicas de las fincas constituyen otro elemento relevante para comprender esta diferencia entre la disposición y el uso actual. Las preguntas complementarias permitieron identificar que el costo de adquisición y la falta de internet o señal móvil son de las principales dificultades percibidas, además de preocupaciones relacionadas con la capacitación, la adaptación del personal y el cuidado de los dispositivos. Los autores en [20] señalan que los costos elevados pueden limitar el uso de tecnologías, mientras que la referencia [19] identificó grupos de productores que reconocían sus beneficios, pero no contaban con suficiente preparación tecnológica ni condiciones facilitadoras. En este sentido, la adopción no depende únicamente de adquirir equipos, sino también de garantizar conectividad, soporte técnico, capacitación y acompañamiento durante su implementación.

Las tecnologías consideradas de mayor utilidad por los participantes estuvieron relacionadas principalmente con el

control de la alimentación o el agua, el monitoreo de la salud y el comportamiento animal y la identificación mediantes aretes RFID. Esta preferencia demuestra que los participantes conceden mayor importancia a herramientas con aplicaciones prácticas y beneficios directamente observables en las actividades de la finca. Los resultados coinciden con los estudios que destacan la utilidad de los sensores para recopilar información y detectar cambios relacionados con la salud y el comportamiento animal [1] [5]. De igual forma, la producción científica señala que la tecnología RFID facilita la identificación individual y el seguimiento de los animales dentro de los sistemas de trazabilidad [9]. En consecuencia, estas herramientas pueden constituir puntos iniciales para promover procesos graduales de adaptación tecnológica en el sector pecuario.

En cuanto a la confiabilidad del instrumento, los factores de utilidad percibida y eficiencia; rentabilidad, sostenibilidad y bienestar animal; condiciones técnicas de la finca; e intención de uso y uso actual presentaron niveles favorables de consistencia interna. Esto indica que los enunciados agrupados en estos factores mantienen una relación adecuada y permiten valorar de manera coherente los aspectos para los cuales fueron diseñados. El resultado de utilidad percibida y eficiencia guarda relación con el estudio original, donde el factor denominado desempeño también presentó una consistencia interna favorable [19]. No obstante, la comparación debe realizarse con cautela, debido a que el número y la organización de los ítems fueron modificados durante la adaptación del cuestionario.

El factor de influencia social y percepción del entorno presentó una consistencia interna elevada (α=0.984); sin embargo, este resultado debe interpretarse con precaución porque únicamente contiene dos ítems y puede reflejar una elevada similitud entre ambos. Para una aplicación posterior sería conveniente ampliar la medición de esta dimensión mediante nuevos ítems. Por otra parte, los factores de facilidad de uso y esfuerzo percibido y frecuencia de uso de tecnologías alcanzaron valores próximos al nivel de referencia establecido. Al tratarse de una aplicación piloto, estos resultados no implican necesariamente que los factores deban descartarse, sino que orientan la revisión de sus enunciados antes de una aplicación posterior con una muestra más amplia. La reorganización del instrumento en ocho factores y la reducción del número de ítems también pueden haber influido en las diferencias respecto al cuestionario original.

En contraste, el factor de confianza en la tecnología y en los proveedores presentó una consistencia interna muy baja (α=0,172), mediante el coeficiente alfa de Cronbach, utilizado para evaluar la consistencia interna de los ítems de una escala. Este resultado podría estar relacionado con la variedad de aspectos incluidos dentro del factor, debido a que confiar en el funcionamiento de los dispositivos, seguir sus recomendaciones, confiar en los proveedores y preocuparse por la seguridad de los datos no necesariamente representan una única percepción. Además, uno de los enunciados fue formulado en sentido negativo, mientras que los dem[as expresan confianza o disposición favorable. Esta diferencia de orientación pudo influir en la relación entre las respuestas. Al comparar este resultado con el estudio original, el factor de confianza estuvo integrado por cinco ítems y obtuvo una consistencia interna aceptable [19], por lo que se requiere revisar la redacción, orientación y organización de los tres enunciados utilizados en la adaptación antes de una aplicación posterior.

Los resultados muestran que la viabilidad de la adopción no depende únicamente de la utilidad percibida, sino también de condiciones económicas y técnicas. En la muestra piloto, el costo de adquisición fue la principal dificultad identificada (53,3%), seguido por la falta de internet o señal móvil (20%). Estos resultados son consistentes con la literatura, que identifica costos de adquisición, conectividad, mantenimiento y capacitación como factores que puedan limitar la incorporación tecnológica. Por ello, la investigación posterior debería incorporar un análisis económico que relacione inversión inicial, costos de operación, capacitación, ahorra potencial y retorno esperado de las soluciones IoT-RFID.

V. CONCLUSIONES

El análisis bibliométrico evidenció una tendencia ascendente moderada de la producción científica sobre IoT y RFID durante 2015-2025, con concentración temática en la producción pecuaria de precisión, sensores y monitoreo en tiempo real, así como una red de coautoría fragmentada. La delimitación del corpus permitió identificar el modelo UTAUT y seleccionar un instrumento adaptable al contexto del sector pecuario hondureño

La aplicación piloto a 15 participantes mostró una valoración favorable de los beneficios relacionados con rentabilidad, sostenibilidad y bienestar animal, pero una frecuencia de uso limitada. El costo de adquisición, la conectividad y las necesidades de capacitación fueron las principales barreras identificadas. Debido al carácter exploratorio y al tamaño de la muestra, estos resultados constituyen una aproximación preliminar y no permiten generalizarse al sector pecuario hondureño.

La confiabilidad fue favorable en varios factores; sin embargo, el factor de confianza en la tecnología y en los proveedores presentó α=0,172 y requiere revisión, mientras que el α=0.984 de influencia social debe interpretarse con cautela por estar basado en dos ítems. Las relaciones propuestas entre IoT-RFID, trazabilidad, monitoreo sanitario y optimización productiva no fueron comprobadas en esta fase. Se requiere una muestra mayor y una validación complementaria mediante análisis ítem-total, Omega de McDonald y análisis factorial, además de una evaluación económica de la adopción tecnológica.

AGRADECIMIENTO

Agradecemos a la Universidad Nacional Autónoma de Honduras por brindarnos el espacio y las oportunidades necesarias para nuestra formación profesional, así como a la Facultad de Ingeniería y al Departamento de Ingeniería Industrial. Expresamos nuestro especial agradecimiento a la Ph. D. Rossana Carías por su orientación y acompañamiento durante este proceso, y a todas las personas que participaron y contribuyeron al desarrollo de esta investigación.

REFERENCIAS

[1] Tedeschi, L. O., Greenwood, P. L., & Halachmi, I. (2021). Advancements in sensor technology and decision support intelligent tools to assist smart livestock farming. Journal of Animal Science, 99.

[2] Ozger, Z. B., Cihan, P., & Gokce., E. (2024). A systematic review of IoT technology and applications in animals. Kafkas Üniversitesi Veteriner Fakültesi Dergisi, 30(4), 411–431. Obtenido de Kafkas Üniversitesi Veteriner Fakültesi Dergisi: https://doi.org/10.9775/kvfd.2024.31866

[3] Terence, S., Immaculate, J., Raj, A., & Nadarajan, J. (2024). Systematic review on Internet of Things in smart livestock management systems. *Systematic review on Internet of Things in smart livestock management systems, 16*(10).

[4] Kaur, U., Malacco, V. M., Bai, H., Price, T. P., Datta, A., Xin, L., Sen, S., Nawrocki, R. A., Chiu, G., Sundaram, S., Min, B.-C., Daniels, K. M., White, R. R., Donkin, S. S., & Brito, L. F. (2023). Invited review: Integration of technologies and systems for precision animal agriculture—a case study on precision dairy farming. *Journal of Animal Science, 101*.

[5] Zhang, M.-j., Wang, X.-p., Feng, H.-h., Huang, Q.-y., Xiao, X., & Zhang, X. (2021). Wearable Internet of Things enabled precision livestock farming in smart farms: A review of technical solutions for precise perception, biocompatibility, and sustainability monitoring. *Journal of Cleaner Production, 312*.

[6] Germani, L., Mecarelli, V., Baruffa, G., Rugini, L., & Frescura, F. (2019). An IoT architecture for continuous livestock monitoring using LoRa LPWAN. *Electronics, 8*(12).

[7] Ilyas, Q. M., & Ahmad, M. (2020). Smart farming: An enhanced pursuit of sustainable remote livestock tracking and geofencing using IoT and GPRS. *Wireless Communications and Mobile Computing*.

[8] Tzanidakis, C., Tzamaloukas, O., Simitzis, P., & Panagakis, P. (2023). Precision livestock farming applications (PLF) for grazing animals. Agriculture, 13(2).

[9] Liang, W., Cao, J., Fan, Y., Zhu, K., & Dai, Q. (2015). Modeling and implementation of cattle/beef supply chain traceability using a distributed RFID-based framework in China. PLOS ONE, 10(10).

[10] Kampan, K., Tsusaka, T. W., & Anal, A. K. (2022). Adoption of blockchain technology for enhanced traceability of livestock-based products. *Sustainability, 14*(20), 13148.

[11] Alshehri, M. (2023). Blockchain-assisted internet of things framework in smart livestock farming. *Internet of Things, 22*.

[12] Bahlo, C., Dahlhaus, P., Thompson, H., & Trotter, M. G. (2019). The role of interoperable data standards in precision livestock farming in extensive livestock systems: A review. *Computers and Electronics in Agriculture, 156*, 459–466.

[13] Bumbálek, R., Ufitikirezi, J. D., Umurungi, S. N., & Bartos, P. (2025). Computer vision in precision livestock farming: Benchmarking YOLOv9, YOLOv10, YOLOv11, and YOLOv12 for individual cattle identification. *Smart Agricultural Technology, 12*.

[14] Bhaskaran, H. S., Gordon, M., & Neethirajan, S. (2024). Development of a cloud-based IoT system for livestock health monitoring using AWS and python. *Smart Agricultural Technology, 9*.

[15] Dineva, K., & Atanasova, T. (2021). Design of scalable IoT architecture based on AWS for smart livestock. *Animals, 11*(9).

[16] Symeonaki, E., Arvanitis, K. G., Piromalis, D., Tseles, D., & Balafoutis, A. T. (2022). Ontology-based IoT middleware approach for smart livestock farming toward Agriculture 4.0: A case study for controlling thermal environment in a pig facility. *Agronomy, 12*(3).

[17] Jebari, H., Rekiek, S., & Reklaoui, K. (2025). Advancing precision livestock farming: Integrating hybrid AI, IoT, cloud and edge computing for enhanced welfare and efficiency. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications, 16*(7), 302–311.

[18] Taer, A. N., & Taer, E. C. (2025). Harnessing precision and innovation: A systematic review of precision livestock farming and IoT technologies in the Philippines. *Ceylon Journal of Science, 54*(1), 53–64.

[19] Schukat, S., & Heise, H. (2021). Smart products in livestock farming—An empirical study on the attitudes of German farmers. *Animals, 11*(4).

[20] Akinyemi, B. E., Siegford, J. M., Jessiman, L., Turner, S. P., Johnson, A. K., & Akaichi, F. (2025). Precision livestock farming usage among a subset of U.S. swine producers: Insights through a structural equation modeling approach. Smart Agricultural Technology, 10.

[21] Carías, R., & Espinosa, J. F. (Diciembre de 2025). IA en la gestión de organizaciones educativas: Análisis bibliométrico y perspectivas estratégicas. Obtenido de Research Gate.

[22] Baneyx, A. (2008). "Publish or Perish" as citation metrics used to analyze scientific output in the humanities: International case studies in economics, geography, social sciences, philosophy, and history. Obtenido de NIH: doi: 10.1007/s00005-008-0043-0

[23] Eck, N. J., & Waltman, L. (2009). *Springer Nature* . Obtenido de Software survey: VOSviewer, a computer program for bibliometric mapping: DOI 10.1007/s11192-009-0146-3

[24] Javier Tarrío-Saavedra, E. O. (2017). Estudio métrico sobre la actividad investigadora usando el software libre R: el caso del sistema universitario gallego. *Investigación Bibliotecológica: archivonomía, bibliotecología e información, 31*(nesp1), 221–247.

[25] Rubén Urbizagástegui Alvarado, L. C. (2011). La ley de Zipf y el punto de transición de Goffman en la indización automática. *Investigación Bibliotecológica: archivonomía, bibliotecología e información, 25*(54), 71–92.

[26] Bradford, S. C. (1934). Sources of information on specific subjects. *Engineering, 137*, 85-86.

[27] Cronbach, L. (1951). *COEFFICIENT ALPHA AND THE INTERNAL STRUCTURE OF TESTS**. Obtenido de Cambridge University Press: https://doi.org/10.1007/BF02310555

[28] Duller, C. (2013). *Das Statistikprogramm IBM SPSS Statistics.* Obtenido de Springer Nature Link: https://doi.org/10.1007/978-3-642-37859-1_4

[29] Cruz-Martínez, G., Gil-Marín, M., Contreras-Barraza, N., VidalSepúlveda, M., Adsuar, J. C., Vega-Muñoz, A., & Salazar-Sepúlveda, G. (2026). *Mapping the UTAUT epistemic community and its alignment with sustainable digital transformation.* Obtenido de Discover Sustainability: https://doi.org/10.1007/s43621-026-03230-9