

International Journal of

Exact Sciences

Acceptance date: 22/12/2025

UN MAPEO SISTEMÁTICO DE LA INTEGRACIÓN DE IOT Y COMPUTACIÓN EN LA NIEBLA EN LA AGRICULTURA DE PRECISIÓN

Ricardo Gonçalves

UAI - Universidad Abierta Interamericana.
CAETI - Facultad de Tecnología Informática.

Gustavo Rossi

UAI - Universidad Abierta Interamericana.
CAETI - Facultad de Tecnología Informática.
LIFIA - Facultad de Informática - UNLP



All content in this magazine is licensed under the Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0).

ABSTRACT: La agricultura de precisión está basada en la obtención de datos más precisos y la optimización de las prácticas agrícolas. En su concepto estructural requiere y depende fuertemente del uso de tecnologías avanzadas; Internet de las Cosas (IoT) es una de estas tecnologías. La computación en la niebla está emergiendo rápidamente como un actor clave en el panorama de las arquitecturas de red, en la medida que aumenta la demanda de procesamiento de datos de baja latencia y alto rendimiento, en particular en la agricultura de precisión, donde las granjas suelen estar situadas en zonas alejadas. En este escenario, la computación en la niebla desempeña un papel crucial, al realizar el procesamiento y la manipulación iniciales de los datos antes de enviarlos a una infraestructura en la nube. Teniendo en cuenta este contexto, este trabajo pretende evaluar la investigación existente y desarrollar un modelo sistemático para mapear las lagunas de conocimiento e identificar áreas de investigación.

KEYWORDS: Agricultura de precisión; Computación en la Niebla; Computación en la Nube; Internet de las cosas (IoT); Sensores;

INTRODUCCIÓN Y CONCEPTOS BÁSICOS

Hoy la informática va más allá de la disponibilidad ubicua de infraestructura tecnológica, y está avanzando hacia la plenitud de la computación ubicua prevista por Weiser.[1] Hace poco más de una década, el uso de dispositivos de Internet de las cosas (IoT) representaba el 9% de los dispositivos en comparación con otros dispositivos conectados a la red (Internet). En una comparación estadística, en 2025 tendremos un 30,9% de dispositivos conectados a la red, frente a otros dispositivos que se espera que representen el 10,3%. Incluso con el uso masivo de dispositivos IoT, pudimos comprobar que el uso de IoT en la agricultura es muy bajo. Parece existir una falta de

información sobre el uso de estas tecnologías y sus aplicaciones en la agricultura. Algunos factores son recursos económicos limitados, escasez de conocimientos e infraestructuras; dificultad para establecer beneficios inmediatos como aumento de ingresos y rentabilidad con el uso de la tecnología y desconfianza en sus proveedores, entre otros [2]. La Computación en la Niebla o Fog Computing es un paradigma para la distribución de servicios basado en crear un entorno para los equipos, una franja entre la nube y el “borde” de la red, facilitando las interacciones en tiempo real con los dispositivos IoT [3]. La IoT se basa en un modelo tradicional compuesto por capas distintas (Percepción, Red y Aplicación). Al mismo tiempo, la Agricultura de Precisión, o Precision Farming es un concepto que hace referencia a la gestión agrícola detallada y precisa, utilizando tecnología avanzada para optimizar la producción. El objetivo de este documento es abordar la integración del IoT, la red en la niebla y la agricultura de precisión. En primer lugar, discutimos brevemente algunos trabajos relacionados. En la sección 3 planteamos las preguntas de investigación; luego en la sección 4 se describe el proceso de búsqueda y los trabajos seleccionados. En la sección 5 presentamos los trabajos más relevantes y la sección 6 busca responder las preguntas de investigación; finalmente en la sección 7 presentamos algunas conclusiones.

TRABAJOS RELACIONADOS

En esta sesión presentamos un conjunto de trabajos relacionados con la presente investigación que utilizan la temática de IoT, Fog Computing y Agricultura de Precisión. En [3] los autores presentan la computación en niebla como una extensión del cloud computing, destacando sus características distintivas como la baja latencia, la amplia distribución geográfica y una fuerte presencia de aplicaciones en tiempo real. Este estudio sostiene

que la computación en la niebla es adecuada para servicios IoT críticos como los vehículos conectados, las redes eléctricas inteligentes y las ciudades inteligentes, donde la latencia y la respuesta rápida son cruciales; en [4] se explora las diferencias entre datos transitorios (Big Stream) y datos persistentes (Big Data) en entornos IoT. Destacan la necesidad de ambos para un análisis eficaz en tiempo real y analizan cómo la computación en la nube es ideal para procesar grandes volúmenes de datos centralizados, pero falla cuando las fuentes de datos están distribuidas y es esencial una baja latencia. [5] ofrece una revisión exhaustiva de la computación en la niebla, destacando su importancia como complemento de la computación en la nube, especialmente para aplicaciones sensibles a la latencia. La capacidad de procesar datos en el borde de la red es crucial para la agricultura de precisión, donde una baja latencia puede mejorar significativamente la respuesta en tiempo real; [6] analiza la detección ubicua que permiten las tecnologías de redes de sensores inalámbricos (WSN) y su capacidad para medir, inferir y comprender indicadores medioambientales en diversos contextos, desde ecologías delicadas hasta entornos urbanos. En [2] se analiza la aplicación de las nuevas tecnologías en el proceso de producción del vino, destacando cómo la supervisión constante del proceso de fermentación y el uso de tecnologías adecuadas pueden mejorar la calidad del producto, reducir los costos de producción y aumentar la competitividad en el mercado. [7] presenta un estudio de caso en el entorno experimental MCTIC/FAPESP MENTORED, que proporciona valiosos conocimientos sobre la aplicación práctica de la Virtualización de Funciones de Red (NFV) en escenarios realistas.

PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN

Para llegar a las preguntas de investigación, buscamos las investigaciones recientes sobre el tema IoT y la computación en la niebla en el contexto de la agricultura de precisión. Estas son las preguntas que guiarán nuestro análisis:

P1: ¿Cómo se utilizan las tecnologías IoT en la agricultura de precisión para supervisar y mejorar la gestión de los recursos en los cultivos?

P2: ¿Cómo puede la computación en la niebla contribuir a la sostenibilidad y a la gestión eficiente de los recursos en la agricultura de precisión?

P3: ¿Cómo se puede optimizar la arquitectura de computación en la niebla para reducir la latencia y aumentar la eficiencia en el procesamiento de datos en tiempo real en entornos agrícolas?

P4: ¿Cuáles son las tecnologías y arquitecturas más utilizadas para implantar soluciones de computación en la niebla en el contexto agrícola?

CRITERIO DE BÚSQUEDA, SELECCIÓN Y SÍNTESIS

Siguiendo la estructura sistemática de mapeo de literatura, se analizaron trabajos en las plataformas Google académico, IEEEExplore y ACM. Se realizó una búsqueda en los principales repositorios con fechas entre 2010 y 2024.

En Google Scholar, las búsquedas incluían términos como: “IoT” AND “Fog Computing” AND “Farming Agriculture”, “IoT” AND “Computación en Niebla” AND “Agricultura de Precisión”, e “Internet of Things” AND “Fog Computing” AND “Precision agriculture”. En IEEE, una string usada fue: “Precision farming” AND IoT AND “fog computing” AND architecture. En ACM, la búsqueda

se realizó utilizando los términos: [All: precision farming] AND [All: IoT] AND [All: fog computing] AND [E-Publication Date: (01/01/2010 TO 01/31/2024)].

Para filtrar las búsquedas, utilizamos los siguientes criterios de inclusión y exclusión

Criterios de Inclusión:

- C1.** Publicación entre 2010-2024;
- C2.** Publicación en inglés, castellano, portuguê;
- C3.** Publicación de Thesis, Paper, Artículos;
- C4.** Publicación qué enfoque en IoT, Computación en Niebla, monitoreo y Agricultura de Precisión;

Criterios de Exclusión:

- C.E1** - Artículos fuera del intervalo temporal;
- C.E2** - Publicación qué no se tenga aseso por plataforma de búsqueda;
- C.E3** - Publicación de trabajos de graduación;
- C.E4** - Publicación que no abordan estos temas;

TRABAJOS MÁS RELEVANTES

Luego de la búsqueda por las palabras claves, se clasificaron los artículos y se mapearon para dar respuestas a las preguntas de investigación. Se identificaron 199 artículos y publicaciones apropiadas. Para este estudio, hemos seleccionado y filtrado los artículos más pertinentes y, por razones de espacio, hemos resumido el debate siguiente basándonos en estos documentos que discutimos abajo. Todos los documentos que contribuyeron de algún modo a esta investigación pueden encontrarse aquí: <https://drive.google.com/drive/folders/1V4xK92ideFc9vUwAOAISBJ-H4-vC2lLQ?usp=sharing>

[3] extiende el paradigma de la computación en la nube al borde de la red, lo que permite comprender una nueva gama de aplicaciones y servicios. Aprovecha las principales características definitorias de la computación en la niebla: baja latencia, conocimiento de la ubicación, amplia distribución geográfica, movilidad, gran número de nodos. **Discusión:** Pone de relieve cómo la computación en la niebla puede complementar la computación en nube dando soporte a aplicaciones IoT que requieren baja latencia y respuestas en tiempo real.

[4] presenta el enfoque de los dos conceptos de Little Data o Big Stream: datos transitorios que se capturan constantemente desde dispositivos inteligentes IoT y Big Data: datos y conocimientos persistentes que se almacenan y archivan en un almacenamiento centralizado en la nube. **Discusión:** Este estudio destaca la importancia de distinguir entre datos transitorios (Big Flow) y datos persistentes (Big Data) en entornos IoT,

[5] discute los retos de los principales tipos de servicio de computación en la nube (IaaS, PaaS, SaaS) y las ventajas que conllevan (elasticidad y escalabilidad). Discute el problema de la distancia entre los equipos finales (sensores, dispositivos de borde) y los servicios, que se encuentran en centros de datos, a menudo separados geográficamente, y el problema que la latencia acarrea a aplicaciones como las catástrofes y la entrega de contenidos. **Discusión:** Este estudio ofrece una revisión de la computación en la niebla, destacando su importancia como complemento de la computación en la nube, especialmente para aplicaciones sensibles a la latencia.

[8] sostiene que al virtualizar sus recursos, la computación en la niebla permite crear múltiples redes virtuales o «network slices» sobre una misma arquitectura física, cada una de ellas al servicio de un contexto diferente. **Discusión:** La capacidad de crear y gestionar múltiples redes virtuales sobre una arquitectura física compartida es especialmente relevante para la agricultura de precisión.

[9] aborda cuestiones y el estado de la técnica relacionados con el uso de la virtualización de funciones de red (NFV) en la detección y mitigación de las amenazas a la seguridad. **Discusión:** La capacidad de crear y gestionar múltiples redes virtuales en una arquitectura física compartida es especialmente relevante para la agricultura de precisión.

ANÁLISIS Y DISCUSIÓN

Seguidamente se presentan algunas respuestas iniciales a las preguntas de investigación

P1: ¿Cómo se utilizan las tecnologías IoT en la agricultura de precisión para supervisar y mejorar la gestión de los recursos en los cultivos?

El uso de procesos de monitoreo en la agricultura puede ser transformador, cuando se piensa en el potencial de las tecnologías de la Internet de las Cosas (IoT), donde cada detalle del cultivo puede impactar significativamente en la calidad de los productos.. La integración de sensores puede proponer una oportunidad única para optimizar la administración de los recursos. Sensores de suelo y ambiente son esenciales para mensurar la humedad y, temperatura y nutrientes del suelo por ejemplo. En un documento de 2017 de la - (FAO) , Se decía lo siguiente: Las tecnologías de la información y la comunicación modernas ofrecen a los agricultores múltiples opciones para comprar insumos, vender productos y mejorar su acceso a la información. Pero, como se menciona en otras investigaciones recientes, el tema de la tecnología en la agricultura es todavía muy pequeño para el nivel de superficie en hectáreas y la cantidad de productores y productos producidos en América del Sur. En un informe de la CEPAL titulado: Digitalización y cambio tecnológico en las pequeñas industrias agrícolas y agroindustriales en América Latina. En la actualidad 16 de 27 países de la región cuentan con una agenda digital

a nivel nacional vigente y en implementación [10]. De los 13 países analizados, solamente en cuatro de ellos se consideran acciones destinadas a la transformación digital de este sector [10].



Fig 1: Cantidad de Países con uso de Agricultura de Precisión

Fuente:[10]

En el aspecto de la agricultura 4.0 nace como un producto del desarrollo del IoT y otras tecnologías con el fin de conectar e intercambiar datos con otros dispositivos y sistemas a través de internet. Actualmente, diversas entidades, empresas, universidades y centros tecnológicos se han interesado en impulsar el desarrollo del sector agrícola, contando con conocimiento específico en el tema. Sin embargo, no existe un paquete tecnológico que solucione de forma integral los problemas relacionados con el manejo agrícola. [11]

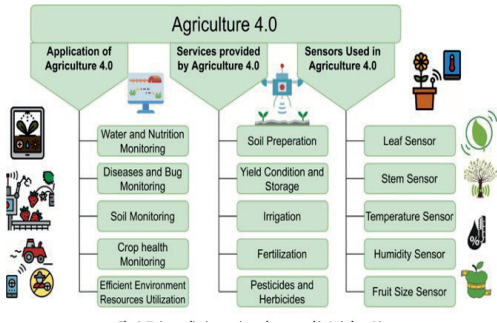


Fig 2: Mapeo de Agricultura 4.0

Fuente: [12]

P2. ¿Cómo puede la computación en niebla contribuir a la sostenibilidad y (a) la gestión eficiente de los recursos en la agricultura de precisión?

La computación en la niebla como una extensión de la computación en la nube ofrece una infraestructura distribuida que tiene un procesamiento y almacenamiento de datos más cercano de los dispositivos de origen. Uno de los principales beneficios de la computación en la niebla es la capacidad de procesar datos en tiempo real. Sensores instalados en campos agrícolas recolectan datos acerca de la humedad del suelo, temperatura, niveles de nutrientes y otras informaciones de gran importancia para la planta. Con la computación en la niebla esos datos pueden empezar a ser analizados y tratados localmente siendo posible ajustes inmediatos en las prácticas agrícolas como aplicación de nutrientes, agua, defensivos entre otros. Es importante tener en cuenta que muchas granjas están situadas en zonas alejadas de los centros urbanos y tienen una disponibilidad limitada de conexiones a Internet de alta velocidad, la latencia es un paradigma incrementado a las distancias y al uso de redes inalámbricas y dispositivos IoT, que necesitan un bajo consumo energético. [8]. En general, si los dispositivos necesitan enviar datos a un entorno de computación en la nube para su procesamiento y visualización, es casi imposible hacerlo en tiempo real debido al problema de la latencia entre el dispositivo y el entorno de computación en nube externo.

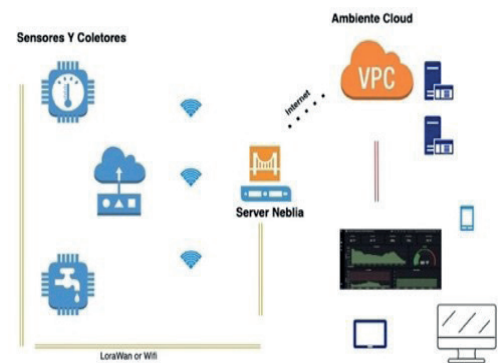


Fig 3: Visión general de una Red IoT y Niebla

Fuente: Proprio autor

P3: ¿Cómo se puede optimizar la arquitectura de computación en la niebla para reducir la latencia y aumentar la eficiencia en el procesamiento de datos en tiempo real en entornos agrícolas?

En el rendimiento de un sistema cliente/servidor influyen dos factores de red: el ancho de banda de la red (cuántos bits/s puede transportar) y la latencia (cuántos segundos tarda el primer bit en llegar del cliente al servidor)[13]. En términos de redes informáticas, se refiere al tiempo que tarda una solicitud en ir de un dispositivo de origen (como un sensor IoT) al de destino (como un servidor en la nube) y de vuelta al dispositivo de origen con una respuesta. El concepto de computación en la nube implica centralizar el procesamiento y almacenamiento de datos en centros de datos remotos [14]. Cuando un dispositivo IoT o cualquier otro sistema gestiona estos datos o los envía a una nube para su procesamiento o análisis, se puede generar un retraso (latencia). Dependiendo del sistema o la aplicación, esta operación puede realizarse con normalidad, sin demasiados aspectos negativos para el usuario final. En la latencia de la computación en la nube influyen varios factores: la distancia física, ya que cuanto más lejos estén los dispositivos del centro de datos, mayor será la latencia; la congestión de la red, ya que el tráfico de red puede causar retrasos en la transmisión de datos; y el procesamiento cen-

tralizado, que implica el tiempo que tardan los servidores en la nube en procesar y responder a las peticiones. En un trabajo muy interesante [15] crea una plataforma de computación en la niebla como prueba de concepto, consistente en dos subsistemas de red, cada uno de los dos subsistemas.

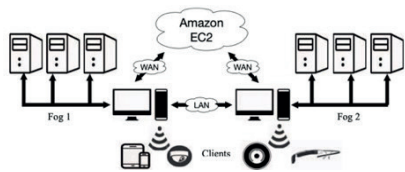


Fig 4: Plataforma de pruebas Computación en Niebla
Fuente: [20]

En primer lugar, comparamos la latencia y el ancho de banda proporcionados por la niebla y la nube. Utilizamos el RTT (tiempo de ida y vuelta) como métrica de latencia, y medimos tanto el ancho de banda de subida como el de bajada. Los resultados se muestran en la fig5. Podemos ver que la red en la niebla tiene grandes ventajas en términos de baja latencia y gran ancho de banda para los clientes. [15]

	RTT (ms)	Up/Down-link Bandwidth (Mbps)
Fog	1.416	83.723/101.918
Cloud	17.989	1.785/1.746

Fig 5: Pruebas de latencia Niebla x Cloud
Fuente: [15]

P4: ¿Cuáles son las tecnologías y arquitecturas más utilizadas para implantar soluciones de Computación en Niebla en el contexto agrícola?

Una arquitectura de computación en la niebla bien definida, diseñada y mapeada es clave para determinar cómo se procesan, almacenan y transmiten los datos entre los dispositivos de campo y los centros de procesamiento. Las arquitecturas jerárquicas, de malla e híbridas son algunos de los enfoques

utilizados para equilibrar la carga de trabajo y optimizar el flujo de información en entornos agrícolas. Hasta la fecha, no se dispone de una arquitectura estándar. Sin embargo, muchos trabajos de investigación han prediseñado arquitecturas de computación en la niebla [16], [3], [17].

Arquitectura jerárquica: La arquitectura jerárquica es la más común en las soluciones de la niebla para la agricultura. En esta configuración, los datos fluyen desde los sensores IoT a los nodos de la niebla (gateways) y luego a la nube central. Esta estructura jerárquica permite una distribución eficiente de la carga de trabajo, con un procesamiento inicial realizado en los nodos de la niebla para reducir la latencia. Cada dispositivo de la niebla tiene asociada una capacidad de CPU y un ancho de banda de red de enlace ascendente. Esto debe utilizarse para ejecutar aplicaciones de la niebla en ellos.[4]

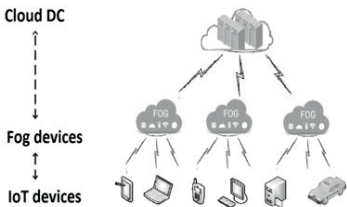


Fig 6: Arquitectura IoT Jerárquica
Fuente: [18]

Arquitectura de malla: En una arquitectura de malla, cada nodo de la niebla puede comunicarse directamente con otros nodos, formando una red interconectada. Esta topología aumenta la resiliencia de la red, permitiendo que los datos encuentren múltiples caminos para llegar a su destino final.

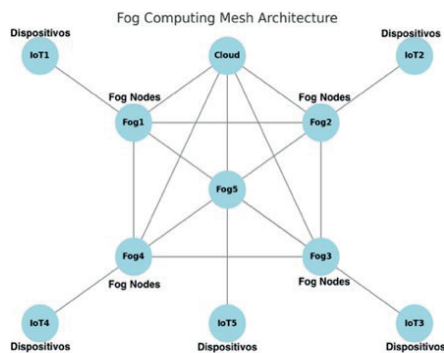


Fig 7: Arquitectura Mesh/Malla para IoT y Niebla

Fuente: Proprio Autor

Arquitectura híbrida: Combina elementos de las arquitecturas jerárquicas y de malla, aprovechando las ventajas de ambas. En una arquitectura híbrida, algunas funciones están descentralizadas y se procesan localmente en los nodos de niebla, mientras que otras están centralizadas en la nube.

CONCLUSIONES

La agricultura de precisión representa una revolución en la forma en que gestionaremos los recursos agrícolas, proporcionando un nivel de eficiencia y sostenibilidad sin precedentes. La integración de tecnologías

avanzadas como Internet de las Cosas (IoT) y computación en la niebla (Fog Computing) desempeñan un papel crucial en esta transformación. A pesar del uso aún limitado de estas soluciones en la agricultura, el potencial de crecimiento de estas tecnologías es inmenso. Las ventajas en términos de eficiencia de procesamiento de datos, menor latencia y la capacidad de operar en entornos con conectividad limitada son solo algunos de los beneficios que podrían impulsar una adopción más amplia en los próximos años. La agricultura 4.0, que se caracteriza por la digitalización y automatización de los procesos agrícolas, encontrará en la computación en la niebla un poderoso aliado. A medida que más agricultores y empresas adopten estas tecnologías, podemos esperar una transformación significativa en el sector, con mejoras sustanciales en la eficiencia de los recursos, reducción de costos y aumento de la productividad y un impacto positivo enorme, que promete un futuro más eficiente y sostenible para la agricultura mundial.

REFERENCES

1. M. Weiser, "The Computer for the 21 st Century," *Sci Am*, vol. 265, no. 3, pp. 94–105, 1991.
2. M. A. Orozco, "Análisis de factibilidad en la implementación de un sistema de control para el monitoreo del proceso de fermentación del vino (Doctoral dissertation, SIPI).," 2020. Accessed: May 31, 2023. [Online]. Available: https://repositorio.cetys.mx/bitstream/60000/1102/1/Orozco%20Armando_Proyecto%20final.pdf
3. F. Bonomi, R. Milito, J. Zhu, and S. Addepalli, "Fog computing and its role in the internet of things," in *Proceedings of the first edition of the MCC workshop on Mobile cloud computing*, 2012, pp. 13–16.
4. A. V Dastjerdi, H. Gupta, R. N. Calheiros, S. K. Ghosh, and R. Buyya, "Chapter 4 - Fog Computing: principles, architectures, and applications," 2016. doi: 10.1016/B978- 0-12-805395-9/00004-6.
5. C. Mouradian, D. Naboulsi, S. Yangui, R. H. Glitho, M. J. Morrow, and P. A. Polakos, "A Comprehensive Survey on Fog Computing: State-of-the-Art and Research Challenges," Jan. 01, 2018, *Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc.* doi: 10.1109/COMST.2017.2771153.
6. J. Gubbi, R. Buyya, S. Marusic, and M. Palaniswami, "Internet of Things (IoT): A vision, architectural elements, and future directions," *Future Generation Computer Systems*, vol. 29, no. 7, pp. 1645–1660, 2013, doi: 10.1016/j.future.2013.01.010.

7. G. Werneck de Oliveira, J. Rangel Porto, N. Gonçalves Prates Jr, A. Luiz dos Santos,
8. M. Nogueira, and D. Macêdo Batista, “Capítulo 3 Virtualização de Funções de Rede na IoT: Um Panorama do Gerenciamento de Desempenho x Segurança.”
9. D. M. Gonçalves, L. F. Bittencourt, and E. R. M. Madeira, “Fatiamento dinâmico de redes em computação em névoa para usuários móveis,” in *Anais do XXXIX Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores e Sistemas Distribuídos*, SBC, 2021, pp. 57–70.
10. G. W. de Oliveira, J. R. Porto, N. G. Prates Jr, A. L. dos Santos, M. Nogueira, and D.
11. M. Batista, “Virtualização de Funções de Rede na IoT: Um Panorama do Gerenciamento de Desempenho x Segurança,” *Sociedade Brasileira de Computação*, 2021.
12. O. R. E. M. H. Sotomayor Echenique, “Digitalización y cambio tecnológico en las mipymes agrícolas y agroindustriales en América Latina,” 2021, Accessed: May 31, 2023. [Online]. Available: <https://repositorio.cepal.org/handle/11362/46965>
13. C. A. Muñoz Castro, “Diseño de sistema IoT para la viticultura de la región del Maule (Doctoral dissertation, Universidad de Talca (Chile),” 2021. Accessed: Jul. 02, 2023. [Online]. Available: <http://dspace.utalca.cl/bitstream/1950/13002/3/2021A000748.pdf>
14. M. Raj *et al.*, “A survey on the role of Internet of Things for adopting and promoting Agriculture 4.0,” Aug. 01, 2021, *Academic Press*. doi: 10.1016/j.jnca.2021.103107.
15. A. S. Tanenbaum, “Redes de Computadores/Andrew S,” *Tanenbaum: Tradução [ds 3. ed. original] Insight Serviços de Informática. Rio de Janeiro: Campus*, 1997.
16. R. Buyya, J. Broberg, and A. M. Goscinski, *Cloud computing: Principles and paradigms*. John Wiley & Sons, 2010.
17. S. Yi, Z. Hao, Z. Qin, and Q. Li, “Fog computing: Platform and applications,” in *2015 Third IEEE workshop on hot topics in web systems and technologies (HotWeb)*, IEEE, 2015, pp. 73–78.
18. M. B. Caminero, C. Núñez-Gómez, and C. Carrión, “Aplicaciones de blockchain en IoT y computación en la niebla,” in *Actas del Congreso Internacional de Ingeniería de Sistemas*, 2021, pp. 19–31.
19. U. Y. Khan and T. R. Soomro, “Envisioning Internet of Things using Fog computing,” *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, vol. 9, no. 1, pp. 441–448, 2018, doi: 10.14569/IJACSA.2018.090161.
20. Z. Rezazadeh, M. Rezaei, and M. Nickray, “LAMP: A Hybrid Fog-Cloud Latency- Aware Module Placement Algorithm for IoT Applications,” in *2019 IEEE 5th Conference on Knowledge Based Engineering and Innovation, KBEI 2019*, Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., Feb. 2019, pp. 845–850. doi: 10.1109/KBEI.2019.8734958.