

# Edge Computing: Una oportunidad para la optimización de sistemas embebidos

Valentina Álvarez Valderrama

Luis Daniel Lemus

Gian Sebastian Mier

**Abstract—** Exploraremos la evolución y el impacto de los paradigmas computacionales modernos como IoT, Cloud Computing y Edge Computing. Examina la arquitectura y los beneficios del Edge Computing sobre el Cloud Computing tradicional, destacando su papel en permitir el procesamiento de datos en tiempo real para aplicaciones de IoT. La discusión incluye la influencia de las tecnologías de comunicación inalámbrica, cruciales para la efectividad de IoT y Edge Computing, profundizando en la mejora del rendimiento, la eficiencia y la capacidad de respuesta de sus aplicaciones. Finalmente, se concluye con una perspectiva sobre el futuro del Edge Computing en IoT, enfatizando el potencial de tecnologías emergentes para la transformación de la industria.

**Index terms—** Edge Computing, Internet of Things (IoT), Cloud Computing, Cloudlet Computing, Mobile Edge Computing, Fog Computing, Sistemas Embebidos, Sistemas Operativos, Fog Nodes, Edge, Cloud

## I. INTRODUCCIÓN

A medida que internet fue creciendo, la necesidad de mantener los dispositivos conectados para recolectar o procesar datos también aumentó. Así surgió Internet de las Cosas (IoT), una tendencia donde dispositivos físicos no ordenadores (que típicamente no tienen acceso a Internet) tengan la capacidad de transmitir datos a la nube o *Cloud*, un sitio físico en otro lugar del mundo para almacenar y/o procesar la información recopilada. De este modo, se introdujo el Cloud Computing como la forma clásica en el IoT de manipular datos a gran escala.

Este modelo presenta varios inconvenientes asociados, siendo el más significativo el retraso en la comunicación de los dispositivos con el sistema de procesamiento central o *Cloud*. Para abordar esto, el Edge Computing aparece como una alternativa que intenta superar los desafíos de las aplicaciones que dependen de los servidores en la nube, ofreciendo una forma descentralizada de procesar los datos lo más cerca posible de donde se encuentren los dispositivos consumidores/productores.

El procesamiento se produce en tiempo real, aunque sigue existiendo una interacción con la nube en ciertos procesos;

parte de las solicitudes se manejan localmente, reduciendo la latencia como uno de los enfoques en IoT.

En este contexto, la mayoría de las aplicaciones de IoT ejecutan sus tareas siguiendo una arquitectura de tres capas. La primera consta de sistemas embebidos, que manejan equipos de bajo consumo, confiables y en tiempo real para monitorear la información. La segunda capa es la comunicación, que implica compartir información con la tercera capa y entre dispositivos, usualmente a través de conexiones inalámbricas, siendo esta última la que proporciona los servicios reales para cualquier solicitante.

El propósito de este artículo es recopilar información del avance de paradigmas computacionales modernos como el IoT, Cloud Computing y Edge Computing, resaltando las particularidades de cada una de estas temáticas en conjunto con otros conceptos relacionados. El enfoque de esta investigación será abordado desde la perspectiva de los dispositivos embebidos y las tecnologías de comunicación inalámbrica que han permitido el desarrollo de aplicaciones IoT que ya están presentes en nuestra vida cotidiana. Finalmente presentaremos las posibles aplicaciones y oportunidades del IoT impulsado por el Edge computing en nuestro mundo actual basado en datos.

## II. ¿EN QUÉ CONSISTE EL EDGE COMPUTING?

A diferencia de la computación en la nube, en el Edge computing el procesamiento de datos ocurre en el *edge* o borde de la red más cercana a la fuente de datos, utilizando los conceptos de almacenamiento en caché y comprensión de datos.

Para entender la importancia del Edge Computing en la implementación del IoT, debemos comprender su estructura:

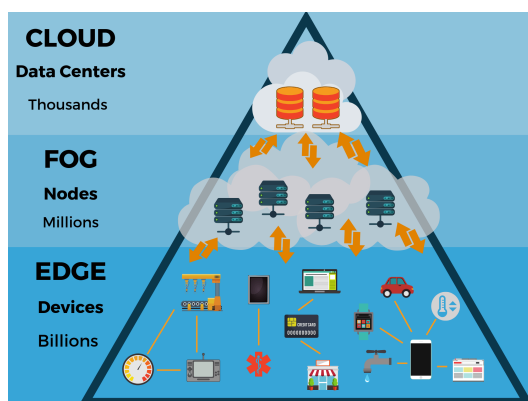


Figure 1: Esquema básico de arquitectura Edge computing, tomado de [1]

La base del IoT son los dispositivos. Cada uno de ellos debe contar como mínimo con las siguientes características: un procesador de baja potencia, una memoria pequeña, bajo consumo de energía, soporte para ejecutar aplicaciones en tiempo real e interfaces de red para transmitir o recibir datos. Debido a que se van ejecutar procesos en el procesador, es necesario un sistema operativo especializado que gestione los procesos y la memoria, aunque es cierto que como es un sistema embebido, su uso del procesador y la memoria estarán limitados según el tipo de aplicación. Todos estos sistemas operativos van operar al mínimo y con lo esencial, casi como el funcionamiento de un microkernel.

Este sistema va enviar o recibir datos de los dispositivos a través de redes, puesto que son aplicaciones en tiempo real. No obstante, hay un limitante en la acción de centralizar completamente los datos de estos dispositivos y este es el cuello de botella generado en *Cloud*, resultando en un alto tráfico en la red y latencia, como también en retardos en el procesamiento de los datos. Estos problemas surgen por un desconocimiento de la locación al provisionar recursos a una aplicación o dispositivo final, los sistemas centralizados en la nube no consideran dónde se encuentran físicamente los dispositivos que necesitan acceso a los recursos, lo que impide optimizar el procesamiento de datos de acuerdo a la proximidad del dispositivo.

En vista de esto, se han propuesto intentos recientes de llevar las capacidades del Cloud Computing al Edge Computing, aumentando la eficiencia general. Su implementación se puede clasificar en tres tipos: Mobile Edge Computing (MEC), Fog Computing (FC) y Cloudlet Computing (CC).

A pesar de ser implementaciones del Edge Computing tiene diferencias claras para el tipo de aplicación o caso de uso.



Figure 2: Implementaciones del Edge computing, tomado de [2]

- **Fog Computing:** Esta implementación está basada en FCN's (Fog Computing Nodes), puede tener muchos puntos de acceso, gracias a su heterogeneidad no están solo limitados a dispositivos de comunicación sino diferentes capas de la red es decir multiprotocolo, es compatible con dispositivos limitados los cuales vamos abordar como sistemas embebidos.
- **Mobile Edge Computing:** Una implementación muy eficaz en lugares remotos donde la señal es un problema; por ejemplo, en zonas rurales donde solo hay disponibilidad de señal móvil. Aprovechando la infraestructura móvil, es posible tener mas poder de procesamiento y almacenamiento en tiempo real ya que funcionan como dispositivos de comunicación y de procesamiento. Sin embargo termina siendo una implementación costosa debido al consumo de energía.
- **Cloudlet Computing:** Considerados Mini Datacenter, son un cluster de computadores dedicados para procesar bastante flujo de información como lo es demandado en el procesamiento en tiempo real, no obstante sigue teniendo las desventajas de la Cloud por ser centralizada y alta consumidora en energía.

Tanto el **Cloudlet Computing** como el **Mobile Edge Computing** comparten el mismo objetivo: extender las capacidades de la nube hasta el borde de la red. Se basan en una infraestructura descentralizada, aunque accesible a través de diferentes tipos de redes y pueden desplegarse de diferentes maneras, tanto en términos del tipo de dispositivos como de la proximidad a los usuarios finales. También existen diferencias en cuanto a las entidades elegibles para poseer estas infraestructuras, dado que los nodos MEC están vinculados al borde de la infraestructura de la red móvil, solo las compañías de telecomunicaciones pueden proporcionar servicios MEC, mientras que cualquier entidad puede desplegar

una infraestructura de Cloud computing. Más allá de esto, observamos al **Fog Computing** como un paradigma que no se limita solo al borde de la red, sino que a su vez se presenta como una nueva entidad que incorpora el concepto de Edge Computing proporcionando una capa estructurada que cierra completamente la brecha entre el IoT y el Cloud Computing, mejorando completamente su interacción.

### III. EVOLUCIÓN DEL EDGE COMPUTING EN LOS SISTEMAS EMBEBIDOS

Lo más crítico del IoT es que estos dispositivos se comporten como sistemas embebidos. Si bien, existen ciertas confusiones al definirlos se podría decir que son subsistemas en dispositivos o máquinas limitadas para aplicaciones dedicadas en tiempo real y esto es precisamente lo que pasa en IoT, se requieren de dispositivos con capacidad de operar al mínimo generando o consumiendo datos, tomando en consideración que todos los sistemas embebidos necesitan distintos hardwares dependiendo de su caso de uso particular, por lo que cada sistema operativo será diferente.

Con las distintas implementaciones del Edge Computing, surgen interrogantes de cual debería ser la mas apropiada sin embargo si nos ponemos minuciosos sobre lo que es realmente factible y necesario para el funcionamiento de aplicaciones del IoT como: ciudades inteligentes, vehiculos autonomos, etc; el Fog Computing sería el enfoque más aproximado a lo que se busca en el Edge Computing, en donde a través de muchos Fog Nodes que no son más que dispositivos intermediarios en la red que gracias a su sistema operativo no solo se comportan como dispositivos de comunicación si no con hardware necesario para hacer procesamiento de los dispositivos inteligentes.

Los Fog Nodes a medida que las aplicaciones lo van requiriendo tienen más capacidades especializadas y se comportan como sistemas multipropósito como algunos de estos servicios:

- **Herramientas de analisis:** Son capaces de hacer un análisis local de los datos de los sensores con ayuda de algoritmos sofisticados de machine learning, esto contribuye a reducir el volumen de datos que van a la Cloud, ya que al solo hacer el análisis, solo es necesario mandar estas salidas de datos. En casos de tratamiento de imagenes en tiempo real es muy util porque que el modelo detecta cuando hay anomalias y rapidamente toma las acciones necesarias en caso de situaciones de emergencias o prevenirlas.

- **Herramientas de colaboración:** Los Fog Node estan bien distribuidos, almacenan y ejecutan tareas. Las cuales pueden ser distribuidas para balancear las cargas, en caso de tener algún fallo tienen respaldos para los datos.
- **Procesamiento de datos:** Son capaces de filtrar los datos, comprimirlos o eliminar datos redundantes e inutiles para ayudar a reducir el volumen excesivo de datos.
- **Herramientas web:** Para facilitar el monitoreo y la configuración de los Fog Nodes, se provee una interfaz web para que se accesible para los usuarios autorizados.

### IV. EL IMPACTO DE LA TECNOLOGÍA DE LAS REDES INALÁMBRICAS

Los dispositivos embebidos han experimentado un progreso significativo en términos de potencia de procesamiento, recursos de memoria, eficiencia energética, tamaño, flexibilidad de programación y costos. En paralelo a esto, la tecnología de redes inalámbricas ha sido uno de los principales pilares del IoT, dando a lugar mayores oportunidades en la expansión de escenarios de aplicación en la vida cotidiana; su desarrollo se ha aprovechado para permitir comunicaciones entre sistemas embebidos, siendo un ejemplo de esto, la posibilidad de crear redes de sensores inalámbricos (WSN).

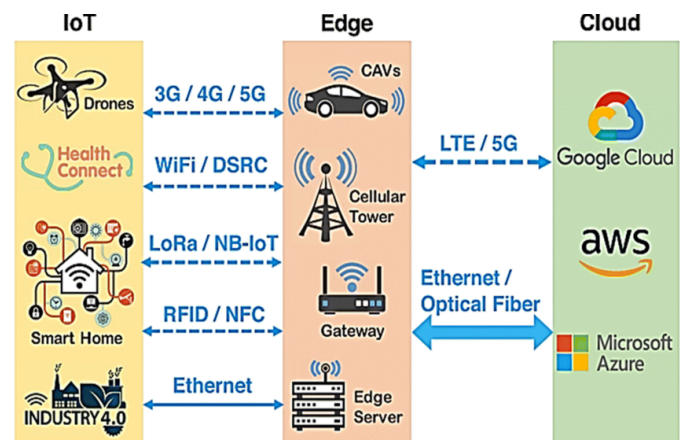


Figure 3: Modelo de Edge computing de tres niveles, tomado de [3]

Las redes Edge operan fuera e independientemente de una red centralizada y es bidireccional, lo que significa que alimenta datos a la red principal, pero también puede usarse para extraer datos de la red principal. Por lo tanto, las redes Edge están diseñadas para funcionar en paralelo y en coordinación con la red principal según sea necesario. Las redes

Edge muy avanzadas proporcionan capacidades adicionales que son altamente sofisticadas, como el procesamiento y la distribución dinámica de datos, así como la ejecución de aplicaciones y algoritmos en el borde.

Por otra parte, la llegada de la quinta generación de redes de comunicación móvil de alta velocidad y baja latencia en el año 2019, ha logrado superar parcialmente algunas de las limitaciones de las aplicaciones IoT. La adopción de 5G en el Edge Computing está transformando múltiples industrias reduciendo latencia e incrementando el ancho de banda y fiabilidad de los sistemas. Los principios de diseño distribuidos de la arquitectura de este estándar permiten la flexibilidad para ubicar recursos computacionales y de almacenamiento ya sea cerca, lejos o en el sitio de la empresa; se estima que para el año 2025 un 75% de los datos empresariales serán creados y procesados en el borde de la red, es decir, por fuera de la nube [4].

A medida que va aumentando el número de dispositivos habilitados para Internet, el uso de servidores Edge o servidores de borde se hace más omnipresente. Las redes modernas no se basan únicamente en los servidores centralizados tradicionales, sino que a su vez la aparición de los servidores edge destacan por su rápida capacidad en tiempos de carga y el aumento en la seguridad de la red. Estos servidores de borde se utilizan como gateways; por ejemplo, su implementación en los vehículos inteligentes puede agregar datos locales de señales de tráfico, dispositivos GPS, vehículos cercanos y demás para procesar la información localmente y mejorar la seguridad en la conducción del automóvil. Ya en aplicaciones más complejas pueden formar clusters o microcentros de datos donde se necesite más potencia computacional a nivel local; su uso se puede reflejar actualmente en las estaciones base celulares 5G, donde permiten alojar aplicaciones y almacenar en caché contenido para los suscriptores locales, sin tener que enviar tráfico a través de una red troncal congestionada.

## V. APLICACIONES Y OPORTUNIDADES DEL IOT IMPULSADO POR EDGE COMPUTING

El Edge Computing ha ampliado significativamente el potencial del IoT al permitir el procesamiento y análisis de datos más cerca de donde se generan. Esto reduce la latencia y el uso de ancho de banda, permitiendo una respuesta más rápida y eficiente. Aquí se exploran algunas de las aplicaciones más prometedoras y las oportunidades que ofrece este paradigma tecnológico.

Las cuatro principales ventajas que ofrece el Edge Computing en la IoT son:

- **Reducción de latencia:** Al procesar los datos de manera local se reduce el tiempo de respuesta, lo cual es muy necesario para aplicaciones o análisis que requieren tomar decisiones en tiempo real.
- **Mayor ancho de banda:** Con el Edge Computing el volumen de los datos se ve reducido, ya que al ser tratados previamente en local, solo es necesario enviar datos relevantes, procesados o agregados. Esto disminuye el tráfico de la red.
- **Estabilidad:** Teniendo en cuenta la capacidad local de procesamiento, toma de decisiones y la menor dependencia a conexiones de larga distancia, los sistemas basados en Edge Computing ofrecen mayor estabilidad incluso en casos de fallo y/o conexiones intermitentes.
- **Seguridad y privacidad:** Al reducir el volumen de datos que es necesario enviar, su consecuencia directa es una menor exposición a ataques durante el paso de la información a la nube y/o almacenada centralmente.

### Aplicaciones y Oportunidades

- **Fabricación inteligente:** Esta aplica para tiendas y fabricas de cualquier tamaño. Se refiere a la capacidad de hacer uso inteligente de los datos reales de las líneas de producción y de las ventas. Busca optimizar los procesos, gestionar mejor los recursos y predecir la producción evitando sobreproducción mejorando también la calidad.
- **Supervisión remota de máquinas:** Continuando con la idea de fabricación inteligente, también es posible usar sensores en las maquinas para predecir cuando requieren mantenimiento o si se presento algo anómalo durante alguna instancia del proceso hecho en la maquina. Sin embargo no se limita solo a esto, sino a la interconexión entre sensores y al flujo de información entres estos. Aquí encajan los vehículos autónomos, gestión o distribución de recursos y en general sensores de cualquier tipo. Para aclarar esta idea un gran ejemplo es la distribución energética de una ciudad redirigiéndola a donde se presenten los niveles más bajos, sensores de proximidad para evitar colisiones en el caso de vehículos autónomos entre muchos otros posibles ejemplos.
- **Análisis, aprendizaje y toma de decisiones:** Al procesar los datos en tiempo real de forma local se facilitan las predicciones y por consecuencia también las posibles mejores decisiones en corto plazo. Esto se puede evidenciar sobre todo en la industria medica ya sea para el monitoreo de un paciente, efectividad

del tratamiento, diagnóstico rápido en situaciones de emergencia y telemedicina.

## VI. DESAFÍOS Y RIESGOS A CONSIDERAR

La convergencia entre el Edge Computing y los sistemas embebidos dentro del campo del Internet de las Cosas presentan múltiples retos, cada uno con su propio conjunto de limitaciones y obstáculos esperados.

- **Seguridad y preservación de los datos:** El procesamiento de datos confidenciales requiere medidas de seguridad sólidas para proteger los dispositivos contra posibles accesos no autorizados. La complejidad adicional de garantizar la seguridad podría entrar en conflicto con las limitaciones de recursos y los requisitos de adaptabilidad existentes.
- **Privacidad del usuario:** El objetivo de salvaguardar la información privada de un usuario se contradice con el despliegue cada vez más amplio de dispositivos habilitados para IoT. Por ello, se debe diseñar un sistema confiable para recopilar y procesar una gran cantidad de datos sin revelar la información privada del usuario.
- **Costos de despliegue:** Dependiendo de la forma en que se elija implementar y administrar esta tecnología, la escalabilidad será mucho más difícil y costosa de lograr debido al número creciente de dispositivos conectados en los sistemas IoT y el manejo de volúmenes de datos masivos.
- **Interoperabilidad:** Los ecosistemas de IoT comprenden dispositivos y plataformas heterogéneas, que requieren de una comunicación e interoperabilidad fluidas para facilitar el intercambio de datos. Un aspecto que hace que esto sea un reto es que los dispositivos más ligeros pueden estar extremadamente limitados en sus capacidades, pero aún así deben ser capaces de comunicarse con otros dispositivos. Por esta razón, es importante seguir métricas de optimización para elegir una asignación adecuada de carga de trabajo en los dispositivos, las cuales incluyen: latencia, consumo de energía, ancho de banda, costo de construcción y mantenimiento.

## VII. DISCUSIÓN

Tanto el Fog Computing, el Cloudlet Computing y el Edge Computing Móvil comparten la visión del paradigma del Edge Computing, sin embargo, tienen un conjunto de características que los diferencian, los cuales analizamos en este artículo junto a los desafíos y oportunidades clave. Observamos que la computación en la nube es una solución ideal

cuando hay una alta disponibilidad de un buen ancho de banda de red, proporcionando muchos servicios independientemente de la cantidad de datos generados; por otro lado el Edge Computing proporciona servicios limitados, pero se puede utilizar para aplicaciones en tiempo real que requieran la ejecución de tareas intensivas. De manera que no determinamos el Edge Computing como un reemplazo o alternativa a la computación en la nube tradicional, sino más bien una extensión de la misma; la integración de ambas tecnologías crea una sinergia que posibilita la optimización de recursos enfocado en la eficiencia de la sincronización de datos.

## VIII. CONCLUSIONES

El Internet de las Cosas (IoT), junto con las tecnologías de Cloud Computing y Edge Computing, ha revolucionado la forma en que interactuamos con el mundo digital. A lo largo de este documento, hemos explorado cómo estas tecnologías se integran y complementan para ofrecer soluciones más eficientes, rápidas y seguras.

Inicialmente, el IoT y el Cloud Computing demostraron ser una combinación poderosa para manejar grandes volúmenes de datos generados por dispositivos conectados. Sin embargo, las limitaciones del Cloud Computing, especialmente en términos de latencia y ancho de banda, presentaron desafíos significativos. La dependencia de una infraestructura centralizada no siempre permite un procesamiento de datos óptimo en aplicaciones críticas que requieren respuestas en tiempo real.

El Edge Computing surge como una solución a estos desafíos, ofreciendo una arquitectura descentralizada que permite el procesamiento de datos cerca de la fuente. Esto reduce la latencia, optimiza el uso del ancho de banda y mejora la eficiencia general del sistema. Implementaciones como Fog Computing, Mobile Edge Computing y Cloudlet Computing demuestran que es posible llevar las capacidades del Cloud Computing al borde de la red, adaptándose a diferentes necesidades y casos de uso.

El documento ha destacado diversas aplicaciones del IoT impulsado por el Edge Computing. En la industria, el mantenimiento predictivo y la automatización de procesos mejoran la eficiencia y reducen costos. En la salud, la monitorización de pacientes y la telemedicina ofrecen mejores servicios y accesibilidad. En los hogares, la automatización y la gestión energética proporcionan comodidad y ahorro. Sin mencionar que tiene muchas más posibilidades y aplicaciones.

En resumen, el Edge Computing ha demostrado ser una pieza clave para superar las limitaciones del Cloud Computing en el contexto del IoT. Su capacidad para procesar datos localmente y en tiempo real lo convierte en una herramienta

invaluable para una amplia gama de aplicaciones. A medida que las tecnologías continúan evolucionando, el IoT impulsado por el Edge Computing seguirá transformando industrias y mejorando nuestras vidas cotidianas.

Hay una clara tendencia por descentralizar la capacidad de procesamiento y almacenamiento por parte de cada uno de los dispositivos de **Internet of Things**, tanto dispositivos del **Edge** como del **Fog** que no eran mas que dispositivos productores de datos o comunicación, ya cuentan con capacidad de dar soporte a aplicaciones que necesitan resultados en tiempo real, esto conlleva que cada uno cuente con su propio sistema operativo que administre todos estos servicios de manera optima.

[5]–[14], [4], [15]–[19]

## REFERENCES

- [1] “What is edge computing?.” [Online]. Available: <https://www.thinkbiz.net/what-edge-computing/>
- [2] “Integrated IT Solutions in Edmonton, AB | SD-WAN Solutions Toronto, ON | cloud computing Solutions Calgary.” [Online]. Available: <https://connectrtechnologies.com/comparison-of-edge-computing-implementations/>
- [3] “Three tier edge computing model.” [Online]. Available: <https://www.researchgate.net/publication/353142372/figure/fig1/AS:1043916673540099@1625900538669/Three-tier-edge-computing-model-9.png>
- [4] Gartner, “What Edge Computing Means for Infrastructure and Operations Leaders.” [Online]. Available: <https://www.gartner.com/smarterwithgartner/what-edge-computing-means-for-infrastructure-and-operations-leaders>
- [5] Á. Cárdenas, “Impulsando el IoT: La Revolución a través del Edge Computing.” [Online]. Available: <https://secmotic.com/edge-computing-iot/>
- [6] “IoT y Edge.” [Online]. Available: <https://www.t-systems.com/es/es/iot-and-edge>
- [7] E. C. F. S. Japón and E. C. F. S. Japan, “Edge Computing es la clave de la evolución de IoT - Presentación Edge Computing Casos de uso.” [Online]. Available: <https://blog.stratus.com/es/edge-computing-is-the-key-to-the-evolution-of-iot-introducing-edge-computing-use-cases/>
- [8] C. F. Del Barrio and C. F. Del Barrio, “Impacto del Edge Computing en IoT - uXcale.” [Online]. Available: <https://www.uxscale.com/impacto-del-edge-computing-en-iot/>
- [9] D. Guest, “10 Ways IoT Edge Computing Can Transform Business in the Digital Age.” [Online]. Available: <https://es.digi.com/blog/post/10-ways-iot-edge-computing-transforms-business>
- [10] W. Shi, G. Pallis, and Z. Xu, “Edge Computing [Scanning the Issue],” *Proceedings of the IEEE*, vol. 107, no. 8, pp. 1474–1481, 2019, doi: 10.1109/JPROC.2019.2928287.
- [11] A. Holt, *Embedded Operating Systems: A Practical Approach*, Second edition. in Undergraduate Topics in Computer Science. Cham: Springer Nature, 2018.
- [12] K. Dolui and S. K. Datta, “Comparison of edge computing implementations: Fog computing, cloudlet and mobile edge computing,” in *2017 Global Internet of Things Summit (GloTS)*, 2017, pp. 1–6. doi: 10.1109/GIOTS.2017.8016213.
- [13] M. De Donno, K. Tange, and N. Dragoni, “Foundations and Evolution of Modern Computing Paradigms: Cloud, IoT, Edge, and Fog,” *IEEE Access*, vol. 7, no. , pp. 150936–150948, 2019, doi: 10.1109/ACCESS.2019.2947652.
- [14] J. Tuvakov and K. Park, “On the Fog Node Model for Multi-purpose Fog Computing Systems,” in *2018 IEEE 9th Annual Information Technology, Electronics and Mobile Communication Conference (IEMCON)*, 2018, pp. 1211–1214. doi: 10.1109/IEMCON.2018.8614845.
- [15] M. R. K. Soumyalatha Naveen, “Key Technologies and challenges in IoT Edge Computing,” 2019, doi: 10.1109/I-SMAC47947.2019.9032541.
- [16] S. Singh, “Optimize cloud computations using edge computing,” *Proceedings of the IEEE*, 2018, doi: 10.1109/BID.2017.8336572.
- [17] F. Oliveira, D. G. Costa, F. Assis, and I. Silva, “Internet of Intelligent Things: A convergence of embedded systems, edge computing and machine learning,” *Internet of Things*, vol. 26, p. 101153–101154, 2024, doi: <https://doi.org/10.1016/j.iot.2024.101153>.
- [18] M. Alrowaily and Z. Lu, “Secure Edge Computing in IoT Systems: Review and Case Studies,” in *2018 IEEE/ACM Symposium on Edge Computing (SEC)*, 2018, pp. 440–444. doi: 10.1109/SEC.2018.00060.
- [19] Linode, “Edge Computing Guide.” [Online]. Available: <https://www.linode.com/docs/guides/edge-computing/>