

Propuesta de metodología de diseño estratificado para sistemas IoT: Un marco para proyectos de investigación académica

A Layered Design Methodology Proposal for IoT Systems: A Framework for Academic Research Projects

Omar Otoniel Flores Cortez

Universidad Tecnológica de El Salvador

Investigador

omar.flores@utec.edu.sv

orcid.org/0000-0003-1754-4090

Fernando Arévalo

Ruhr-Universität Bochum, Alemania

Investigador

Fernando.ArevaloNavas@ruhr-uni-bochum.de

orcid.org/0000-0001-8664-2626

Carlos Osmín Pocasangre Jiménez

Universidad de El Salvador

Investigador

carlos.pocasangre@ues.edu.sv

orcid.org/0000-0002-7463-9873

Recibido: 23 de abril de 2024

Aprobado: 17 de agosto de 2024

Resumen

Este artículo presenta una nueva metodología de diseño para sistemas de internet de las cosas (IoT). La metodología de nueve pasos se desarrolló a partir de la experiencia de sus autores en el diseño de sistemas IoT en entornos académicos, y ha demostrado su eficacia en varios proyectos de investigación. La metodología propuesta se caracteriza por su simplicidad, lo que la hace

Abstract

This paper presents an innovative design methodology for IoT systems. The nine-step methodology was developed from the authors' experience in designing IoT systems in academic contexts and has proven effective in several research projects. The proposed methodology is characterized by its simplicity, making it accessible to students and researchers with no prior experience

accesible a estudiantes e investigadores sin experiencia previa en el diseño de estos sistemas. Además, su enfoque por capas divide el proceso de diseño en etapas bien definidas, lo que facilita la gestión y el seguimiento del proyecto. Este artículo describe en detalle cada una de las etapas de la metodología, acompañadas de ejemplos concretos de su aplicación en proyectos anteriores. Esta propuesta pretende ser un recurso útil para estudiantes e investigadores que deseen desarrollar sistemas IoT de manera eficiente para proyectos de investigación académica.

Palabras clave

Internet de las cosas, innovaciones tecnológicas, productividad científica e investigación, diseño de sistemas, investigación y desarrollo, investigación científica: teoría, métodos, etc.

in IoT system design. Moreover, the layered approach of this methodology divides the design process into well-defined stages, facilitating project management and monitoring. This paper describes each stage of the methodology in detail, accompanied by concrete examples of its application in previous projects. This proposal aims to provide a useful resource for students and researchers who wish to efficiently develop IoT systems for academic research projects.

Keywords

Internet of the Things, technological innovations, scientific productivity and research, system design, research and development, scientific research: theory, methods.

Introducción

El IoT hace referencia a la interconexión de dispositivos físicos, como electrodomésticos, vehículos, sensores, cámaras y otros objetos, a través de internet. Estos dispositivos están equipados con sensores, actuadores y tecnología de conexión, lo que les permite recoger y compartir datos con otros dispositivos y sistemas, facilitando la automatización, la monitorización remota y la toma de decisiones inteligentes (Cecilio Núñez y Moreno, 2021).

Un sistema de IoT está formado por dispositivos físicos (cosas o nodos) que recogen datos a través de sensores y efectúan acciones a través de actuadores, conectándose a través de diferentes tecnologías de comunicación. Estos datos son gestionados por una plataforma IoT que proporciona seguridad, análisis de datos y una interfaz de usuario para interactuar con el sistema (Yacchirema Vargas, 2019).

El diseño de sistemas IoT ha surgido como un campo de investigación y desarrollo crucial en la era digital. La proliferación de dispositivos conectados y la creciente

demandas de soluciones inteligentes han puesto de relieve la importancia de metodologías eficaces para guiar el proceso de diseño de estos sistemas complejos. En este contexto, la elección y aplicación de una metodología específica desempeñan un papel clave en el éxito de un proyecto de IoT, ya que proporcionan un marco estructurado para abordar los retos inherentes a este campo multidisciplinario.

Al iniciar cualquier proyecto de IoT, es fundamental elegir la metodología adecuada. Esta decisión no solo influye en la eficiencia y eficacia del proceso de diseño, sino también en la calidad y viabilidad del producto final. Sin embargo, este proceso puede presentar desafíos únicos para los estudiantes e investigadores en entornos latinoamericanos. La diversidad de contextos socioeconómicos, infraestructuras tecnológicas y recursos disponibles en la región requiere enfoques flexibles y adaptados que a menudo abordan las metodologías convencionales.

En respuesta a esta necesidad, este artículo presenta una nueva metodología de diseño por capas para

sistemas IoT, específicamente desarrollada, teniendo en cuenta las particularidades de los entornos académicos y de investigación latinoamericanos. Esta metodología se propone como una herramienta versátil y adaptable que facilita el proceso de diseño, desarrollo y evaluación de sistemas IoT en este contexto específico. Este artículo busca contribuir al avance del campo de los sistemas IoT en entornos latinoamericanos, proporcionando una metodología de diseño adaptada a las necesidades y realidades de los estudiantes e investigadores de la región.

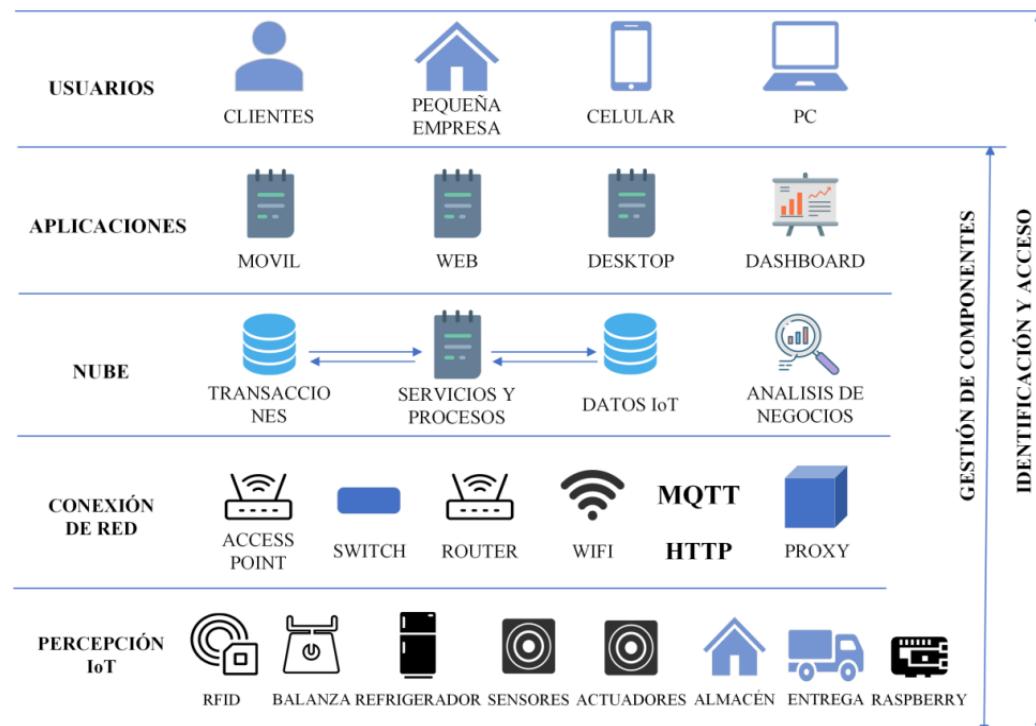
La metodología propuesta se basa en la experiencia acumulada en el diseño y desarrollo de sistemas IoT en entornos latinoamericanos, así como en las mejores prácticas identificadas a nivel internacional. Destaca por su enfoque modular y adaptable, que permite ajustar el proceso de diseño en función de las

necesidades específicas de cada proyecto y de las características del entorno local.

Para respaldar la viabilidad y eficacia de esta nueva metodología, se presentarán ejemplos de aplicación y casos de uso en los que se ha implantado con éxito en proyectos de investigación y desarrollo. Estos ejemplos ilustrarán cómo la metodología propuesta se puede aplicar en diferentes escenarios y ámbitos de aplicación, y destacarán su flexibilidad y capacidad para hacer frente a una variedad de desafíos en el diseño de sistemas IoT.

Al presentar esta nueva metodología y su aplicación práctica, se espera fomentar la innovación y el desarrollo de soluciones inteligentes que impulsen el progreso socioeconómico y tecnológico de la región.

Figura 1: Arquitectura básica de un sistema de IoT



Nota: La imagen muestra los bloques funcionales que componen la arquitectura básica de un sistema de IoT, así como algunas opciones de implementación para cada capa. Fuente: Gélvez-Rodríguez y Santos-Jaimes (2020).

Estado de la técnica

El diseño de sistemas IoT ha sido objeto de investigación y desarrollo en todo el mundo, con una amplia gama de metodologías propuestas para guiar este complejo proceso (Merzouk et al., 2020). En esta sección, se revisará el estado actual de las metodologías de diseño de sistemas IoT, haciendo hincapié tanto en los enfoques convencionales como en las tendencias emergentes en este campo.

Las metodologías tradicionales para el diseño de sistemas IoT suelen basarse en enfoques tradicionales de ingeniería de software y sistemas, adaptados para abordar los desafíos únicos de la interconexión de dispositivos y la gestión de datos en entornos IoT (Fortino et al., 2021). Un ejemplo de estas metodologías es el Modelo Espiral, que se centra en la iteración y la mitigación de riesgos a lo largo del ciclo de vida del proyecto, lo que lo hace especialmente adecuado para proyectos de IoT en los que la complejidad y la incertidumbre son habituales (ASP Gems, 2019).

La metodología de Ingeniería de Requisitos se centra en la identificación y documentación de los requisitos del sistema, lo cual es fundamental en el diseño de sistemas IoT, donde la interoperabilidad y la escalabilidad son aspectos críticos a tener en cuenta (Carrizo y Rojas, 2018). La metodología del Ciclo de Desarrollo de Software proporciona un enfoque general para el desarrollo de software, incluyendo etapas como la planificación, el diseño, la implementación, las pruebas y el mantenimiento. Es fácilmente adaptable al desarrollo de sistemas IoT de cualquier tamaño y complejidad (Alfawair, 2022).

Ante la necesidad de enfoques más flexibles y adaptables, han surgido tendencias en el diseño de sistemas IoT. Estas tendencias incluyen metodologías ágiles, como Scrum y Kanban, que se centran en la colaboración interfuncional, la iteración continua y la entrega incremental. Son especialmente adecuadas para proyectos de IoT en los que se requiere flexibilidad y adaptabilidad para responder a los rápidos cambios de los requisitos del cliente o del mercado (Ochante-Huamacco et al., 2022; Alshammari, 2022; Guerrero-Ulloa et al., 2023).

Investigaciones anteriores también han demostrado la eficacia de la metodología de diseño centrado en el usuario, que prioriza la comprensión de las necesidades y expectativas de los usuarios finales a lo largo de todo el proceso de diseño (Bordegoni et al., 2023).

Por otro lado, la metodología Model Driven Development, que utiliza el modelado para especificar, diseñar y desarrollar sistemas IoT, también es común en la literatura consultada. Permite una mayor abstracción y reutilización de componentes, lo que puede acelerar el proceso de desarrollo y mejorar la calidad del software resultante (Nast y Sandkuhl, 2023; Figueira Gonçalves et al., 2022).

La metodología de desarrollo basado en prototipos es un enfoque iterativo que consiste en crear rápidamente versiones preliminares del producto final con el objetivo de validar conceptos, obtener retroalimentación temprana de los usuarios y reducir el riesgo de desarrollo. Esta metodología es especialmente relevante en el contexto del IoT debido a la complejidad y diversidad de los sistemas y dispositivos implicados (Meyliana et al., 2023).

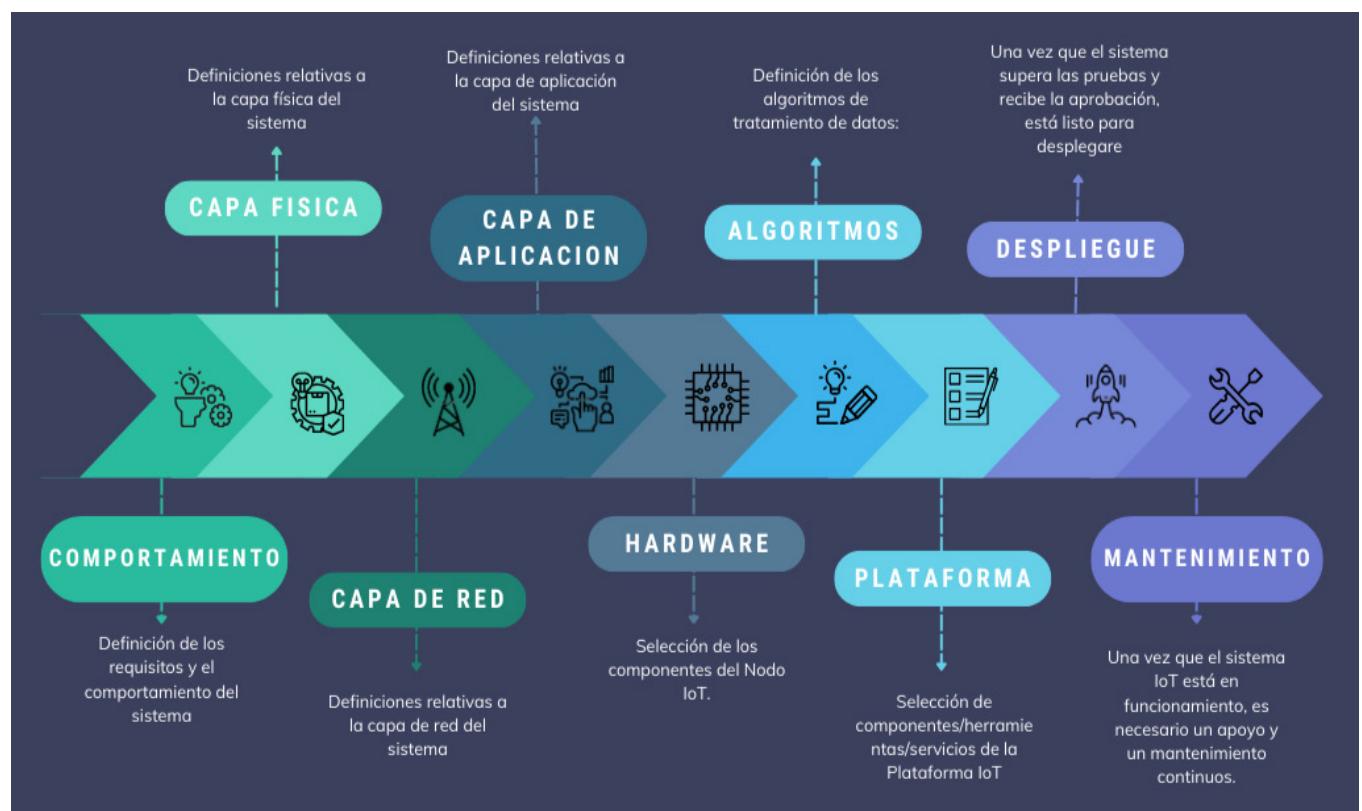
A pesar de los avances en este campo, el diseño de sistemas de IoT en entornos latinoamericanos sigue planteando importantes desafíos. Estos retos se deben a la falta de recursos y de formación especializada, así como a la necesidad de adaptar las metodologías existentes a las particularidades locales. Sin embargo, también existen oportunidades para la innovación y la colaboración en el desarrollo de metodologías específicas para la región que puedan abordar las necesidades únicas de los estudiantes e investigadores latinoamericanos en el diseño de sistemas IoT. Tras revisar la literatura existente, nuestro enfoque difiere de las contribuciones actuales al proponer una metodología sencilla y práctica con un enfoque didáctico. Nuestra propuesta pretende apoyar a estudiantes, investigadores, académicos e incluso a profesionales de la industria en el diseño e implementación de sistemas IoT.

Metodología de diseño por capas para sistemas IoT

Las metodologías de diseño para sistemas IoT combinan enfoques convencionales y tendencias emergentes, y enfrentan retos y oportunidades. En la siguiente sección, se presentará una nueva metodología de diseño por capas para sistemas IoT, diseñada para tener en cuenta las necesidades particulares de los desarrollos de estos sistemas en entornos académicos y de investigación. Esta propuesta metodológica pretende ser una opción de diseño que fomente la colaboración entre estudiantes, investigadores y profesionales de la industria, y cree oportunidades para la transferencia de conocimiento y la generación de soluciones innovadoras.

Presentamos una metodología innovadora para el desarrollo de sistemas IoT, meticulosamente diseñada en nueve etapas que abarcan todos los aspectos del proceso. Cada etapa tiene un objetivo claro y se describe de forma concisa, lo que facilita su comprensión y aplicación. Su objetivo es ser una herramienta práctica para cualquiera que desee desarrollar una aplicación IoT, desde principiantes hasta expertos en la materia. La metodología propuesta abarca desde la fase conceptual inicial, en la que se definen los requisitos y objetivos del sistema, hasta el despliegue final y el mantenimiento posterior. La metodología por capas consta de nueve etapas, como se ilustra en la Figura 1. A continuación, se ofrece una descripción detallada de cada una de ellas para comprender mejor su desarrollo.

Figura 2: Secuencia de la Metodología en Capas para el diseño de sistemas IoT.



Nota: la figura muestra la secuencia de etapas que componen la metodología propuesta. Fuente: Diseño propio.

1. Definición de los requisitos y comportamiento del sistema

En esta fase se deben definir los requerimientos en términos de funcionalidad general del sistema; es decir, se establecen las bases sobre las que se construirá el sistema, definiendo su propósito, características y comportamiento. Los puntos clave que hay que definir en esta etapa son: Función principal: se establece la tarea principal del sistema: ¿qué problema pretende resolver?, ¿qué necesidad concreta satisface? Nivel de IoT: se determina el nivel de complejidad del sistema dentro del paradigma IoT: ¿Se trata de un sistema de monitorización básico, un sistema de control sencillo o un sistema complejo con capacidades de autogestión e inteligencia artificial?

2. Requisitos relacionados con la capa física

En esta fase se deben definir las necesidades de sensores o de interfaz con el mundo real en el que estará inmerso el sistema de IoT que se va a diseñar. Los puntos clave que hay que definir son:

- Número de nodos: se especifica el número de sensores y actuadores necesarios para cumplir la función principal del sistema. En esta fase también se considera la ubicación y distribución de los nodos. Alimentación eléctrica: se establecen los requisitos de voltaje para cada nodo, teniendo en cuenta las restricciones energéticas y la disponibilidad de fuentes de alimentación en el entorno donde se implementará el sistema. Nodos e interfaces: Se definen los tipos de sensores y actuadores necesarios y sus interfaces digitales o analógicas, asegurando la compatibilidad entre los diferentes componentes del sistema. Potencia computacional: se determina la capacidad de procesamiento necesaria en cada nodo, teniendo en cuenta la complejidad de las tareas que se van a ejecutar y la necesidad de procesamiento en tiempo real o diferido.

3. Requisitos de la capa de red

Esta es una etapa fundamental para garantizar una comunicación eficaz y segura entre los distintos

componentes del sistema IoT. En esta etapa se establecen las características y protocolos que regirán el intercambio de datos. Los aspectos clave que hay que definir en esta etapa son: Tipología de comunicación: hay que definir cuál será la topología de red más adecuada para el sistema, teniendo en cuenta factores como el número de nodos, la distancia entre ellos, la necesidad de redundancia y la escalabilidad. Las opciones incluyen topologías en estrella, en bus, en anillo o en malla. Comunicación por cable o inalámbrica: se determina si la comunicación entre nodos será por cable (Ethernet, RS-485) o inalámbrica (Wi-Fi, Bluetooth, Zigbee, LoRaWAN). La elección dependerá del entorno operativo, la distancia entre nodos, la necesidad de movilidad y el consumo de energía. Retardo de transmisión: se define si el sistema requiere la transmisión de datos en tiempo real (para aplicaciones como el control industrial) o si puede tolerar un retraso en la entrega de la información (para aplicaciones de monitorización medioambiental). Distancia entre nodos: se establecen las distancias mínimas y máximas entre los nodos y el concentrador, teniendo en cuenta el alcance de la tecnología de comunicación seleccionada y la topología de la red. Potencia de transmisión: se definen límites de potencia de transmisión para cada nodo, teniendo en cuenta la normativa local, el consumo de energía y la necesidad de minimizar las interferencias entre redes. Criptografía de los datos: se selecciona el tipo de criptografía que se va a utilizar para proteger la información durante la transmisión, garantizando la confidencialidad, la integridad y la autenticidad de los datos.

4. Requisitos de la capa de aplicación

Esta etapa se centra en la gestión y el procesamiento de los datos recogidos por los sensores del sistema IoT. Los puntos clave que hay que definir son: Tipos de usuarios finales: se definen los diferentes tipos de usuarios que interactuarán con el sistema y se categorizan por su rol (público en general, especialistas, directivos) y necesidades de información. Acceso a la información: se determina el tipo de información al que tendrá acceso cada tipo de usuario, teniendo en cuenta la sensibilidad de los

datos, su rol en el sistema y las tareas que necesitan hacer. Esta etapa se centra en la interacción entre el sistema y los usuarios finales. Interfaces de usuario: se definen las interfaces que el sistema ofrecerá a los usuarios, como aplicaciones web, aplicaciones móviles, interfaces de voz o interfaces táctiles. Se tienen en cuenta factores como la usabilidad, la accesibilidad y la experiencia del usuario. Complejidad del procesamiento y el análisis: se determina la complejidad necesaria en las interfaces de usuario para el procesamiento y el análisis. Esto incluye la capacidad de visualizar datos, hacer análisis en tiempo real, generar alertas y tomar decisiones. Dispositivos de usuario final: se definen los tipos de dispositivos que los usuarios finales utilizarán para acceder al sistema, como teléfonos inteligentes, tabletas, ordenadores o dispositivos IoT específicos.

5. Selección de los componentes de hardware del nodo IoT

En esta fase se seleccionan los componentes físicos que conformarán cada nodo, como sensores, actuadores, controladores y transceptores de radio. Los puntos que hay que definir en esta fase de diseño son: Sensores y actuadores: se seleccionan sensores y actuadores específicos que cumplan los requisitos definidos en etapas anteriores. Se tendrán en cuenta características como el tipo de magnitud que se va a medir o controlar, el rango de medida, la precisión, el consumo y la compatibilidad con el resto del hardware. Controlador, microcontrolador o microprocesador: se elige el «cerebro» del nodo, ya sea un controlador, un microcontrolador o un microprocesador. La elección dependerá de la potencia de cálculo necesaria, la cantidad de memoria, el número de entradas y salidas disponibles para conectar sensores y actuadores, y el consumo de energía. Transceptor de radio: se selecciona el transceptor de radio adecuado para la comunicación inalámbrica entre los nodos y el concentrador. Se tienen en cuenta factores como la frecuencia de funcionamiento, la potencia de transmisión, el alcance, la sensibilidad y el consumo de energía.

6. Definiciones de los algoritmos de procesamiento de datos

En esta fase se determina cómo se procesará y analizará la información recogida por el sistema IoT. Esta etapa define la lógica y los métodos que se utilizarán para convertir los datos brutos en información útil y procesable. Los aspectos clave que deben definirse son los siguientes:

- Firmware del nodo IoT: se define la estructura y las funciones principales del firmware que se ejecutará en cada nodo. Esto incluye la lógica de adquisición de datos, el procesamiento básico, la comunicación con otros nodos y la gestión de la energía. Procesamiento en la plataforma IoT: se define la lógica de los procedimientos de procesamiento que se implementarán en dicha plataforma. Esto incluye la integración de datos de diferentes nodos, el análisis avanzado, la generación de alertas, la visualización de datos y la toma de decisiones. Pseudocódigo o diagramas de flujo: se pueden utilizar herramientas como el pseudocódigo o los diagramas de flujo para describir la lógica de los algoritmos de procesamiento de forma clara y concisa. Lenguaje de programación: se selecciona el lenguaje de programación adecuado para desarrollar el firmware del nodo IoT y la plataforma IoT. A la hora de elegir, hay que tener en cuenta factores como la facilidad de uso, la eficiencia, la compatibilidad del hardware y la disponibilidad de bibliotecas.

7. Selección de componentes de la plataforma IoT

En esta fase se seleccionan los servicios, herramientas y componentes tecnológicos que conformarán el marco del sistema IoT que se va a implantar. Los puntos clave que hay que definir en esta etapa son: Servicio en la nube: la elección del tipo de servicio en la nube (SaaS, PaaS o IaaS) es un hito fundamental para la arquitectura del sistema. Cada tipo tiene ventajas e inconvenientes únicos que deben evaluarse meticulosamente. Factores como el coste, la escalabilidad, la seguridad y la compatibilidad son determinantes en esta elección. Protocolos

de comunicación: seleccionar los protocolos de comunicación adecuados es esencial para facilitar una interacción fluida entre los nodos y la plataforma IoT. Debe elegirse un protocolo que sea implementable tanto por los controladores de los nodos como por el servicio en la nube seleccionado, garantizando así una comunicación eficiente. Interfaz API: las interfaces de programación (API) permiten la interacción entre los nodos del sistema y la plataforma. Elegir la interfaz API adecuada contribuirá a una integración fluida y a una comunicación eficaz entre los componentes del sistema. Almacenamiento: la selección del tipo de base de datos y del servicio de almacenamiento para los datos generados por los nodos es importante. A la hora de seleccionar el servicio y la estructura de la base de datos, hay que tener en cuenta la capacidad de almacenamiento, la velocidad de acceso, la redundancia y la disponibilidad. Presentación: La elección del servicio web para gestionar las interfaces de usuario remotas es crucial para garantizar una experiencia de usuario satisfactoria. Este servicio web proporcionará el entorno en el que los usuarios interactuarán con el sistema, accediendo a los datos y controlando los dispositivos IoT de forma remota.

8. Requisitos de despliegue

En esta fase del proceso de implantación del sistema IoT diseñado, se deben detallar los requisitos necesarios para llevar a cabo un despliegue eficaz y seguro del sistema en el entorno operativo previsto. Estos requisitos abarcan diversos aspectos críticos para garantizar el funcionamiento óptimo y la integridad del sistema en el lugar de despliegue. A continuación, se describen los principales aspectos que deben tenerse en cuenta. Requisitos de la red eléctrica: hay que indicar los requisitos de la instalación eléctrica necesarios para satisfacer las demandas de energía del sistema IoT en el lugar de despliegue, así como la capacidad eléctrica disponible, la provisión de tomas de corriente adecuadas y la consideración de sistemas de alimentación de reserva en caso de cortes de energía.

Requisitos de comunicación: deben especificarse los requisitos de cobertura de los enlaces de comunicación necesarios para garantizar una conectividad fiable entre los dispositivos IoT y la infraestructura de red, así como la calidad de la señal y la configuración de redes cableadas o inalámbricas. Requisitos de protección ambiental: deben establecerse los requisitos relativos a la protección del punto de instalación frente a condiciones climáticas adversas, como la lluvia, la humedad, el polvo o las temperaturas extremas, y debe garantizarse el uso de carcasa o armarios resistentes a la intemperie y la aplicación de medidas de sellado y protección adecuadas. Requisitos de seguridad: deben definirse las necesidades de seguridad física del punto de instalación para proteger los dispositivos IoT frente a posibles actos vandálicos o robos, y para garantizar la seguridad del personal que instala y mantiene el sistema.

9. Requisitos de mantenimiento

En esta etapa se detallan todos los aspectos necesarios para mantener la integridad y eficacia del sistema a largo plazo. A continuación, se describen los principales requisitos que deben tenerse en cuenta. Periodicidad del mantenimiento: se establece la periodicidad de las inspecciones preventivas, actualizaciones de software y hardware, ajustes y reparaciones que sean necesarias. Procedimientos de limpieza: se definen los procedimientos necesarios para garantizar el funcionamiento continuo y fiable de los nodos y sensores del sistema, como la limpieza de superficies, la eliminación de obstrucciones y la inspección visual para detectar signos de desgaste o deterioro. Personal de mantenimiento: se especifica el número y la especialización del personal encargado de las tareas de mantenimiento. Herramientas y equipos: se definen las herramientas manuales, los equipos de medición y diagnóstico, así como los dispositivos de protección personal y los sistemas de seguridad necesarios para llevar a cabo los trabajos de mantenimiento.

Tabla 1. Resumen de los puntos clave que deben definirse en cada etapa de la metodología de diseño propuesta

Etapa	Descripción	Puntos clave
Requisitos de comportamiento del sistema	Definir la funcionalidad general del sistema	<ul style="list-style-type: none">• Necesidad por satisfacer• Función principal• Nivel de IoT
Requisitos de la capa física	Definir las necesidades de interacción del sistema con el entorno	<ul style="list-style-type: none">• Tipo y cantidad de sensores/ actuadores• Voltaje de nodos• Poder computacional del nodo• Entorno de instalación de los nodos
Requisitos relativos a la capa de red	Definir las necesidades de comunicación entre nodos y plataforma	<ul style="list-style-type: none">• Topología de la red• Red alámbrica o inalámbrica• Tipo de capa de transporte• Latencia de transmisión• Protocolo de transmisión
Requisitos relativos a la capa de aplicación	Definir las necesidades de gestión y presentación	<ul style="list-style-type: none">• Tipo de usuarios• Tipo de interfaz con el usuario• Tipo de procesamiento y necesidad de poder computacional
Selección hardware del nodo	Definir los componentes electrónicos del nodo	<ul style="list-style-type: none">• Número de parte de sensores y/o actuadores• Número de parte del CPU (microcontrolador o microprocesador)• Transceptor de radio a utilizar
Algoritmos de procesamiento a implementar	Definir el procesamiento de los datos en nodos y plataforma	<ul style="list-style-type: none">• Algoritmo de funcionamiento CPU nodo• Tareas de procesamiento en la plataforma• Lenguajes de programación
Selección de componentes de plataforma	Definir las herramientas de software para la plataforma de IoT	<ul style="list-style-type: none">• API de conexión con el nodo• Servicio de almacenamiento• Servicio de procesamiento• Servicio de presentación
Requisitos de despliegue	Definir las necesidades para la implementación en campo del sistema	<ul style="list-style-type: none">• Red de alimentación de voltaje• Cobertura de red de comunicaciones• Protección ambiental• Seguridad
Requisitos de mantenimiento	Definir las necesidades de mantenimiento preventivo y correctivo del sistema	<ul style="list-style-type: none">• Acciones de limpieza de sensores y nodo• Periodicidad de revisión• Personal a cargo

Discusión

La metodología presentada pretende ser una herramienta de apoyo para el desarrollo de sistemas IoT. Está dirigida a estudiantes, investigadores académicos y expertos industriales que busquen una metodología sencilla y eficaz con pasos bien definidos. La metodología se basa en un enfoque holístico que abarca todas las etapas del desarrollo de sistemas IoT, desde la definición de requisitos hasta la implementación y evaluación.

La metodología propuesta es flexible, se puede adaptar a las necesidades específicas de cada proyecto, escalable, ya que se puede aplicar a proyectos de pequeña y gran escala, y reproducible, ya que los pasos están definidos y permiten reproducir los resultados de los proyectos. Esta metodología se ha utilizado con éxito en varios trabajos, como el sistema IoT móvil para la medición de la calidad del aire (Flores-Cortez et al., 2023), el sistema IoT para el monitoreo de gas CO₂ en volcanes (Pocasangre et al., 2023), el sistema de localización de camiones (Flores-Cortez y Gonzales Crespín, 2023) y el sistema IoT para el monitoreo de gas GLP (Flores-Cortez et al., 2021).

A pesar de las ventajas que ofrece nuestra nueva metodología para el diseño de sistemas IoT, es crucial reconocer y abordar los retos que podrían dificultar su éxito. Para que sea eficaz, es fundamental difundirla y adoptarla, lo que requiere un esfuerzo sostenido de promoción mediante la publicación de artículos, la celebración de conferencias y la creación de materiales educativos. Además, el constante avance del campo del IoT requiere la actualización y evolución continuas de la metodología para integrar los últimos avances tecnológicos. La formación y la educación en su uso son esenciales para su adopción generalizada, así como para su adaptación a proyectos específicos con el fin de garantizar su pertinencia y eficacia. Sin embargo, nos enfrentamos a la resistencia al cambio de quienes están familiarizados con metodologías anteriores, lo que pone de relieve la necesidad de comunicar eficazmente las ventajas de nuestro enfoque.

Conclusión

Para garantizar el éxito de su desarrollo y aplicación, es fundamental obtener financiación para la investigación y fomentar la colaboración entre las distintas partes interesadas. Además, es esencial tener en cuenta las necesidades de los usuarios finales en su diseño y efectuar evaluaciones continuas para mejorar y adaptar la metodología a las exigencias de un contexto en constante cambio.

Referencias

- Alfawair, M. (march 2022). Internet-of-things: A system development life cycle (sdlc). *Journal of Theoretical and Applied Information Technology*, 100(6), 1643-1643. <https://www.jatit.org/volumes/Vol100No6/5Vol100No6.pdf>
- Alshammari, F. H. (2022). *Analytical evaluation of SOA and SCRUM business process management approaches for IoT-based services development. Scientific Programming*, 2022(1). <https://doi.org/10.1155/2022/3556809>
- ASP Gems. (2019). *Metodología de desarrollo de software (III) – Modelo en Espiral*. Madrid.
- Bordegoni, M., Carulli, M. & Spadoni, E. (2023). *User experience and user experience design*. En *Prototyping user experience in extended reality* (pp. 11-28). Springer Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-39683-0_2
- Carrizo, D. y Rojas, J. (2018). *Metodologías, técnicas y herramientas en ingeniería de requisitos: Un mapeo sistemático*. *Ingeniare. Revista Chilena de Ingeniería*, 26(3), 473-485. <https://doi.org/10.4067/s0718-33052018000300473>
- Cecilio Núñez, Y. L. y Moreno, A. F. (abril-junio 2021). *La gestión en internet de las cosas. Telemática*, 20(2), 63-84. <https://revistatelematica.cujae.edu.cu/index.php/tele/article/view/471/408>
- Figueira Goncalves, R., Menolli, A. & Dionisio, G. M. (2022). *MDD4CPD: Model driven development approach proposal for cyber-physical devices*. *ACM International Conference Proceed-*

- ing Series, Par F180474. (31), 1-8. <https://doi.org/10.1145/3535511.3535542>
- Flores-Cortez, O. O. & Gonzales Crespín, B. (2023). *Aplicación de tecnologías IoT en el control y seguimiento de transporte de carga terrestre*. Revista Minerva, 6(1), 43-56. <https://doi.org/10.5377/revminerva.v6i1.16416>
- Flores-Cortez, O. O., Pocasangre Jiménez, C., Arévalo, F., López, R. L., Peña Martínez, D., & Rafael, O. P. (2023). *A Low-cost IoT Mobile System for Air Quality Monitoring in Developing Countries, a Study Case in El Salvador*. 2023 International Conference on Smart Applications, Communications and Networking (SmartNets), 1-8. <https://doi.org/10.1109/SmartNets58706.2023.10215961>
- Flores-Cortez, O., Cortez, R. & González, B. (2021). *Design and Implementation of an IoT based lpg and co gases monitoring system*. Computer Science & Information Technology (CS & IT), 31-39. <https://doi.org/10.5121/csit.2021.110803>
- Fortino, G., Savaglio, C., Spezzano, G. & Zhou, M. (january 2021). *Internet of things as system of systems: A review of methodologies, frameworks, platforms, and tools*. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics: Systems, 51(1), 223-236. <https://doi.org/10.1109/TSMC.2020.3042898>
- Gélvez-Rodríguez, L. F. y Santos-Jaimes, L. M. (enero-diciembre, 2020). *Internet de las cosas: Una revisión sobre los retos de seguridad y sus contramedidas*. Revista Ingenio, 17(1), 56-64. <https://doi.org/10.22463/2011642x.2370>
- Guerrero-Ulloa, G., Rodríguez-Domínguez, C. & Hornos, M. J. (january 2023). *Agile methodologies applied to the development of internet of things (IoT)-based systems: A review*. En Sensors, 23(2), 1-35. <https://doi.org/10.3390/s23020790>
- Merzouk, S., Cherkaoui, A., Marzak, A. & Nawal, S. (2020). *IoT methodologies: Comparative study*. Procedia Computer Science, 175, 585-590. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2020.07.084>
- Meyliana, Surjandy, Condrobimo, A. R., Eka Widjaja, H. A., Atmadja, W., Susanto, R. & Sablan, B. (2023). *The implementation of business process blockchain technology based of MSCWR SmartBox Model*. Indonesian Journal of Information Systems, 5(2), 68-80. <https://doi.org/10.24002/ijis.v5i2.6793>
- Nast, B. & Sandkuhl, K. (2023). *Methods for model-driven development of IoT applications: Requirements from industrial practice*. En H. Kaindl, M. Mannion & L. Maciaszek (Ed.), *Proceedings of the 18th international conference on evaluation of novel approaches to software engineering* (pp. 170-181). <https://doi.org/10.5220/0011973500003464>
- Ochante-Huamaccto, Y., Robles-Delgado, F., Sierra-Liñan, F. & Cabanillas-Carbonell, M. (july, 2022). *Internet of things based mobile application to improve citizen security*. Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science, 27(1), 386-394. <https://repository.uwiener.edu.pe/bitstream/handle/20.500.13053/6897/27347-55837-1-PB1.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Pocasangre, C. O., Flores-Cortez, O. O., Arévalo, F., Arriaza, C., Aguilar, O., & Henríquez Miranda, B. (2023). *An IoT mobile system for CO₂ monitoring in volcanic soil using the LI-830 sensor and an android app*. 2023 International Conference on Networking, Sensing and Control (ICNSC), 1–6. <https://doi.org/10.1109/ICNSC58704.2023.10318977>
- Yacchirema Vargas, D. C. (2019). *Arquitectura de interoperabilidad de dispositivos físicos para el internet de las cosas (IoT)* [Tesis de doctorado, Universidad Politécnica de Valencia]. <https://ri-unet.upv.es/bitstream/handle/10251/129858/Yacchirema%20-%20Arquitectura%20de%20Interoperabilidad%20de%20dispositivos%20f%C3%adsicos%20para%20el%20Internet%20de%20las%C2%A0C....pdf?sequence=1&isAllowed=y>