



Facultad de Ciencias de la Administración

**Escuela de Ingeniería en Ciencias de la
Computación**

Prototipo de aplicación móvil autoadaptativa basada
en modelos en tiempo de ejecución para
proporcionar servicios de Internet de las Cosas.

**Trabajo de titulación previo a la obtención del
grado de Ingeniero en Ciencias de la
Computación**

Autor:

Patricio Eduardo Ramón Celi

Director:

Ing. Lenin Xavier Erazo Garzón MSc.

Cuenca – Ecuador

Año
2024

DEDICATORIA

Dedico esta tesis, con todo mi cariño y gratitud, a mi familia: a mis padres, quienes siempre creyeron en mí y me brindaron su amor incondicional, y a mis hermanos, quienes fueron mi apoyo constante en cada etapa de esta carrera. Sin ustedes, este logro no habría sido posible.

AGRADECIMIENTO

Quiero expresar mi sincero agradecimiento a todas las personas que me ayudaron durante este proceso.

En especial, agradezco al profesor Lenin Erazo y a la profesora María Inés Acosta por su orientación y apoyo invaluable a lo largo de este proyecto.

También quiero agradecer a mis compañeros de clase por su amistad, su colaboración, y los momentos compartidos durante estos años de estudio.

En particular, quiero agradecer a mi compañero Anthony Romero, ya que esta tesis ha sido un trabajo conjunto. Gracias por tu esfuerzo, compromiso y dedicación, sin los cuales este proyecto no habría sido posible.

Finalmente, agradezco a todas las personas que, de una u otra manera, contribuyeron a que este sueño se hiciera realidad. Este logro es tan mío como suyo.

Índice de Contenidos

DEDICATORIA	i
AGRADECIMIENTO	ii
Índice de Contenidos	iii
Índice de figuras	iv
Prototipo de aplicación móvil autoadaptativa basada en modelos en tiempo de ejecución para proporcionar servicios de Internet de las Cosas.	v
RESUMEN.....	v
Prototype of a model-based self-adaptive mobile application at runtime to provide Internet of Things services.....	v
ABSTRACT	v
Prototipo de aplicación móvil autoadaptativa basada en modelos en tiempo de ejecución para proporcionar servicios de internet de las cosas.	1
1. Introducción	1
1.1. Objetivos	1
1.1.1. Objetivo general	1
1.1.2. Objetivos específicos	1
2. Revisión de literatura	1
2.1 Marco teórico	1
2.1.1 Internet de las Cosas	1
2.1.2. Ingeniería Dirigida por Modelos (MDE)	2
2.1.3. Autoadaptabilidad	3
2.2. Estado del arte	4
3. Materiales y métodos	5
3.1. Metodología	5
3.2. Herramientas de desarrollo	6
3.2.1 Node.js	6
3.2.2 TypeScript	6
3.2.3 PostgreSQL	6
3.2.4 Flutter	6
4. Aplicación móvil autoadaptativa basada en modelos en tiempo de ejecución	7
4.1 Visión general	7
4.2 Arquitectura	7
4.3 Componentes del sistema autoadaptativo	8
4.3.1 Componente de middleware de automodelado y autoadaptación de arquitecturas IoT	8
4.3.2 Componente de aplicación móvil autoadaptativa	10
4.3.3 Componente de aplicación web	11
5. Estudio de Caso	11
5.1. Diseño del Estudio de Caso	11
5.2. Instrumentación y Herramientas de Evaluación	14
5.4. Resultados del Estudio de Caso	22
5.5. Discusión	23
6. Conclusiones y Trabajo Futuro	23
7. Referencias	24

Índice de figuras

Figura 1. Modelo de Transferencia Tecnológica de Gorschek et al. (2006) adaptado al trabajo de titulación.	5
Figura 2. Propuesta de arquitectura basado en el modelo por capas	7
Figura 3. Archivo de configuración del middleware	9
Figura 4. Configuración del socket	10
Figura 5. Código para enviar el mensaje a clientes conectados al socket	10
Figura 6. Método del socket cliente para actualizar los datos.....	11
Figura 7. Llamado al método desde el notificador	11
Figura 8. Distribución del espacio para el caso de estudio	12
Figura 9 Modelo en tiempo de diseño del estudio de caso.	13
Figura 10. Pantalla de inicio de sesión.	14
Figura 11. Despliegue del middleware con información inicial del modelo en tiempo de diseño.	14
Figura 12. Conexión del primer ESP32 en el laboratorio 1.	15
Figura 13. Diagrama de red del escenario del caso de estudio.	15
Figura 14. Conexión del segundo ESP32 en el laboratorio 3.....	16
Figura 15. Pantalla de inicio de sesión de la aplicación móvil.	16
Figura 16. Pantalla para solicitar permisos de acceso al Bluetooth del dispositivo móvil.	17
Figura 17. Pantalla de asignación satisfactoria de permisos de acceso al Bluetooth.....	17
Figura 18. Pantalla de descubrimiento de servicios.....	18
Figura 19. Pantalla de información en caso de pérdida de la conexión a Internet.....	18
Figura 20. Pantalla con los servicios descubiertos en el laboratorio 3.....	19
Figura 21. Pantalla de listado de servicios y entidades IoT disponibles en el Laboratorio 1.	19
Figura 22. Pantalla servicios RESTful disponibles del sensor de Humo.	20
Figura 23. Respuesta del servicio de Humo en la aplicación.....	20
Figura 24. Pantalla de listado de servicios y entidades IoT disponibles en el Laboratorio 3.	21
Figura 25. Pantalla servicios RESTful disponibles del sensor de Temperatura.	21
Figura 26. Pantalla de múltiples servicios disponibles en el servidor de aplicaciones descubierto por la app móvil.	21
Figura 27. Pantalla de información sobre la ausencia de dispositivos Bluetooth cercanos.	22
Figura 28. Pantalla de la aplicación web con el modelo de arquitectura IoT en tiempo de ejecución completo, después de recibir la información de descubrimiento de la aplicación móvil.....	22

Prototipo de aplicación móvil autoadaptativa basada en modelos en tiempo de ejecución para proporcionar servicios de Internet de las Cosas.

RESUMEN

Este trabajo presenta el desarrollo de un prototipo de una aplicación móvil basada en modelos en tiempo de ejecución para proporcionar servicios de Internet de las Cosas (IoT) adaptados a los cambios del entorno. Utilizando tecnologías como Node.js, TypeScript, PostgreSQL y Flutter, el sistema fue diseñado para descubrir dispositivos y servicios IoT, transmitir esta información a un middleware para crear modelos de arquitectura de IoT en tiempo de ejecución que sean el reflejo del entorno real; y, con base en este conocimiento adaptar la interfaz de la aplicación móvil según los cambios del entorno, brindando una experiencia de usuario autoadaptativa. La evaluación del prototipo se llevó a cabo en un entorno universitario controlado, donde se demostró la capacidad del sistema para reaccionar y adaptarse a los múltiples dispositivos y servicios IoT que se encuentran desplegados en diferentes lugares.

Palabras clave: Aplicación móvil, Autoadaptación, Ingeniería Dirigida por Modelos (MDE), Internet de las Cosas (IoT), Middleware, Modelos en Tiempo de Ejecución (models@run.time).

Prototype of a model-based self-adaptive mobile application at runtime to provide Internet of Things services.

ABSTRACT

This work presents the development of a prototype of a runtime model-based mobile application to provide Internet of Things (IoT) services adapted to changes in the environment. Using technologies such as Node.js, TypeScript, PostgreSQL, and Flutter, the system was designed to discover IoT devices and services, transmit this information to middleware to create IoT architecture models at runtime that reflect the real environment, and, based on this knowledge, adapt the interface of the mobile application according to changes in the environment, providing a self-adaptive user experience. The prototype was evaluated in a controlled university environment, where the ability of the system to react and adapt to the multiple IoT devices and services deployed in different locations was demonstrated.

Keywords: Internet of Things (IoT), Middleware, Model-Driven Engineering (MDE), Mobile Application, Runtime Models (models@run.time), Self-adaptation.