



**UNIVERSIDAD
DEL AZUAY**

Universidad del Azuay

Facultad de Ciencias de la Administración

Carrera de Ingeniería de Sistemas y Telemática

**MOTOR DE AUTOCONSCIENCIA BASADO
EN MODELOS EN TIEMPO DE EJECUCIÓN
PARA SISTEMAS IOT**

TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN
DEL GRADO EN INGENIERO EN SISTEMAS Y
TELEMÁTICA

Autor:

Sergio Enrique Ochoa Llanos

Director:

Ing. Lenin Xavier Erazo Garzón MSc.

Cuenca – Ecuador

2022

DEDICATORIA

A mis padres y hermana, quienes me han apoyado en el trayecto de esta carrera de estudios y por siempre incentivar me a conquistar mis temores y enfrentarlos con la motivación necesaria para perseverar ante cualquier situación.

Sergio Enrique Ochoa Llanos

DEDICATORIA

Esta tesis está dedicada a mi esposa, Andrea, quién me apoya en cada etapa de mi vida, por su amor incondicional, y su constante aliento que me brindó el ánimo en esta etapa final.

Sergio Enrique Ochoa Llanos

AGRADECIMIENTO

Mi sincero agradecimiento al ingeniero Lenin Erazo, por su gran apoyo como mi director de tesis; y en general a todos los involucrados en este proyecto de investigación. También quiero agradecer a los miembros del Tribunal, a los Ingenieros Pablo Pintado y Fernando Balarezo. Finalmente agradezco a la Universidad del Azuay, amigos y compañeros.

Índice

DEDICATORIA	I
DEDICATORIA	II
AGRADECIMIENTO.....	III
Índice.....	IV
Índice de Figuras	VII
Índice de Tablas	IX
RESUMEN.....	XI
ABSTRACT	XII
1 INTRODUCCIÓN	1
1.1 Motivación de la investigación	1
1.2 Problemática	1
1.3 Objetivos.....	2
1.3.1 Objetivo general	2
1.3.2 Objetivos específicos.....	3
1.4 Metodología	3
1.5 Estructura del trabajo	4
2 MARCO TEÓRICO Y ESTADO DEL ARTE.....	7
2.1 Internet de las Cosas (IoT).....	7
2.1.1 Arquitectura IoT.....	8
2.1.2 Tendencias en IoT	9
2.2 Sistemas autoconscientes	10
2.2.1 Tipos de autoconsciencia	10
2.2.2 Niveles de autoconsciencia	11
2.2.3 Autoconsciencia individual y colectiva.....	12
2.3 Modelo conceptual de niveles y aspectos de autoconsciencia.....	12

2.3.1	Niveles generales de autoconsciencia	12
2.3.2	Autoconsciencia pre-reflexiva.....	12
2.3.3	Autoconsciencia reflexiva	13
2.4	Modelos en tiempo de ejecución (models@run.time)	13
2.4.1	Objetivos	14
2.4.2	Técnicas.....	14
2.4.3	MAPE-K.....	15
2.5	Estado del Arte.....	16
2.5.1	Planificación de la revisión	16
2.5.2	Ejecución de la revisión sistemática.....	20
2.5.3	Resultados	23
2.5.4	Comparación entre criterios de extracción.....	30
2.5.5	Conclusiones	32
3	ANÁLISIS Y DISEÑO DEL MOTOR DE AUTOCONSCIENCIA.....	33
3.1	Ámbito del motor de autoconsciencia.....	33
3.2	Requisitos del motor de autoconsciencia.....	35
3.2.1	Descripción de actores	36
3.2.2	Diagrama de casos de uso	36
3.2.3	Descripción de los casos de uso	37
3.3	Arquitectura del motor de autoconsciencia.....	42
3.3.1	Componentes de la arquitectura	43
3.3.2	Procesos del motor de autoconsciencia.....	45
3.4	Interfaz de usuario del visor de autoconsciencia	46
4	IMPLEMENTACIÓN DEL MOTOR DE AUTOCONSCIENCIA	48
4.1	Recursos utilizados en la implementación del motor de autoconsciencia	

4.1.1	JavaScript	48
4.1.2	Node.js.....	48
4.1.3	PostgreSQL	50
4.2	Implementación del motor de autoconsciencia.....	50
4.3	Configuración y puesta en operación de la infraestructura de autoconsciencia basada en dockers	59
5	EVALUACIÓN DEL MOTOR DE AUTOCONSCIENCIA	63
5.1	Diseño y planificación de la evaluación	63
5.1.1	Diseño de la evaluación.....	63
5.1.2	Planificación de la evaluación.....	64
5.2	Preparar la recolección de datos	66
5.3	Recolección de datos.....	69
5.4	Análisis y resultados de la evaluación	69
5.4.1	Análisis de la Percepción del Usuario.....	69
5.4.2	Análisis de Relaciones Causales	71
5.4.3	Resultados de la evaluación	73
5.5	Discusión.....	73
6	CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS	76
6.1	Conclusiones	76
6.2	Recomendaciones y trabajo futuro.....	77
	Bibliografía	78
	Anexos.....	81
	Apéndice A. Estudios primarios seleccionados.	81
	Apéndice B. Matriz de resultados de la indagación bibliográfica	84
	C.1. Cuestionario.....	86
	C.2. Evaluación	89

Índice de Figuras

Figura 1.1 Metodología utilizada en el trabajo de titulación, adaptada del Modelo tecnológico de (Gorschek et al., 2006)	3
Figura 1.2 Estructura del trabajo de titulación	6
Figura 2.1. Ciclo MAPE-K (Dar, 2012)	15
Figura 2.2. Proceso de selección de los estudios primarios.....	21
Figura 2.3. Evaluación de la calidad de los estudios primarios.....	22
Figura 2.4. Estudios primarios por biblioteca digital	22
Figura 2.5 Porcentajes de estudios primarios por nivel o capacidad de autoconsciencia	23
Figura 2.6 Porcentajes de estudios primarios por alcance de autoconsciencia	24
Figura 2.7. Porcentajes de estudios primarios por aspectos de autoconsciencia que abordan.	25
Figura 2.8. Porcentajes de estudios primarios por tipo de solución.	26
Figura 2.9. Porcentajes de estudios primarios por paradigma empleado para incorporar la autoconsciencia computacional.	27
Figura 2.10. Porcentajes de estudios primarios por tipo de evaluación.	28
Figura 2.11. Porcentajes de estudios primarios por alcance del enfoque.	29
Figura 2.12. Porcentajes de estudios primarios por metodología.....	29
Figura 2.13 Comparación entre el criterio EC1 y EC3.....	30
Figura 2.14. Comparación entre los criterios EC1 con EC4.	31
Figura 3.1 Arquitectura de la infraestructura de soporte para la construcción y operación de sistemas autoconscientes de IoT (Erazo-Garzon, 2022).....	34
Figura 3.2 Diagrama de casos de uso del motor de autoconsciencia	36
Figura 3.3 Arquitectura del motor de autoconsciencia.....	42
Figura 3.4 Mockup de visualización en tiempo real.....	47
Figura 3.5 Mockup de visualización de datos histórico de las métricas.....	47
Figura 4.2 Fragmento startApp.js	51
Figura 4.3 Fragmento watcher.js	51
Figura 4.4 Fragmento DbStringConnectionReader.js	52
Figura 4.5 Fragmento modelReader.js	53
Figura 4.6 Fragmento getProcess.js.....	53
Figura 4.7 Fragmento process.Classifier.js	54
Figura 4.8 Fragmento setupInfoIntoProcess.js	54
Figura 4.9 Fragmento rDemonsCreator.js y prDemonsCreator.js.....	55

Figura 4.10 Fragmento webServerCreator.js.....	56
Figura 4.11 Fragmento DbconecionCreator.js.....	57
Figura 4.12 Fragmento de autoconsciencia.html.....	57
Figura 4.13 Fragmento index_desktop.css	58
Figura 4.14 Fragmento librería chart.js	58
Figura 4.15 Fragmento routes.js	58
Figura 4.16 Fragmento BD.js	59
Figura 4.17 Fragmento controlador.js	59
Figura 4.18 Fragmento Dockerfile Motor autoconsciencia y Visor datos Autoconsciencia.....	60
Figura 4.19 Fragmento docker-compose.yml.....	62
Figura 5.1 Contexto del cuasi-experimento.....	64
Figura 5.2 Modelo de Evaluación de Tecnologías (TAM) (Moody,2002)	66
Figura 5.4 Modelo teórico para la evaluación del configurador y motor de autoconsciencia.....	67
Figura 5.3 Distribución de preguntas del cuestionario según el modelo TAM.....	68
Figura 5.5 Diagrama de cajas para las variables PEOU, PU e ITU.	70
Figura 5.6 Resultado de la evaluación empírica con el apoyo del TAM.....	75

Índice de Tablas

Tabla 2.1. Preguntas de investigación.	16
Tabla 2.2. Palabras de la cadena de búsqueda.	17
Tabla 2.3. Criterios de extracción.....	18
Tabla 2.4 Distribución de estudios primarios para el criterio de extracción EC1	23
Tabla 2.5 Distribución de estudios primarios para el criterio de extracción EC2.	24
Tabla 2.6 Distribución de estudios primarios para el criterio de extracción EC3.	24
Tabla 2.7. Distribución de estudios primarios para el criterio de extracción EC4.	25
Tabla 2.8. Distribución de estudios primarios para el criterio de extracción EC5.	26
Tabla 2.9. Distribución de estudios primarios para el criterio de extracción EC6.	27
Tabla 2.10. Distribución de estudios primarios para el criterio de extracción EC7.	28
Tabla 2.11. Distribución de estudios primarios para el criterio de extracción EC8.	29
Tabla 3.1 Actores del motor de autoconsciencia.....	36
Tabla 3.2 Caso de uso CU-01	37
Tabla 3.3 Caso de uso CU-02.....	37
Tabla 3.4 Caso de uso CU-03.....	38
Tabla 3.5 Caso de uso CU-04.....	38
Tabla 3.6 Caso de uso CU-05.....	39
Tabla 3.7 Caso de uso CU-06.....	39
Tabla 3.8 Caso de uso CU-07.....	40
Tabla 3.9 Caso de uso CU-08.....	40
Tabla 3.10 Caso de uso CU-09.....	41
Tabla 3.11 Descripción de la arquitectura del motor de autoconsciencia y sus componentes.	43
Tabla 3.12 Descripción de la arquitectura del visor de datos y sus componentes.....	44
Tabla 5.1 Variables dependientes del TAM basadas en la percepción del usuario.....	65
Tabla 5.2 Preguntas del cuestionario para medir las variables del TAM	68
Tabla 5.3 Prueba de Shapiro Wilk para las variables de percepción del TAM.....	70
Tabla 5.4 Resultados del test Wilcoxon one-tailed one-sample.....	71
Tabla 5.5 niveles de significancia sugeridos por Moody (2002).....	71
Tabla 5.6 Regresión Simple entre la Facilidad de Uso Percibida y la Utilidad Percibida	72
Tabla 5.7 Regresión Simple entre la Facilidad de Uso Percibida y la Intención de Uso	72
Tabla 5.8 Regresión Simple entre la Intención de Uso y la Utilidad Percibida	72
Tabla 5.9 Tabla de resumen de estadísticos descriptivos	73

Tabla 5.10 Tabla de resumen de aceptación y rechazo de hipótesis	73
Tabla A.0.1 Estudios primarios seleccionados.	81
Tabla B.0.2 Matriz de resultados de la indagación bibliográfica.	84

RESUMEN:

El desarrollo y mantenimiento de software para sistemas IoT presenta un problema en cuanto al dinamismo y la incertidumbre asociada a su operación, ya que las metodologías existentes se enfocan en la gestión del cambio en tiempo de diseño, requiriendo un gran esfuerzo por parte de los desarrolladores. Dotar a los sistemas IoT de autoconsciencia resulta lo más apropiado para incrementar su autonomía ante los eventos imprevistos. Este trabajo de titulación propone construir un motor de autoconsciencia basado en modelos en tiempo de ejecución para sistemas IoT. Mediante las especificaciones contenidas en estos modelos, el motor puede ejecutar procesos pre-reflexivos y reflexivos de autoconsciencia con el apoyo de métodos de recolección, cálculo y modelos de análisis que generen métricas directas, indirectas e indicadores para valorar el estado y la posible evolución del sistema IoT y su entorno, así como también para recomendar acciones prescriptivas, en caso de ser necesario.

Palabras clave: Ingeniería dirigida por modelos (MDE), Modelos en tiempo de ejecución (models@run.time), Internet de las Cosas (IoT), autoconsciencia (self-awareness).

ABSTRACT:

The development and maintenance of software for IoT systems present a problem regarding the dynamism and uncertainty associated with its operation since the existing methodologies focus on change management at design time, requiring a great effort from the developers. Giving IoT systems self-awareness is the most appropriate way to increase their autonomy in the face of unforeseen events. This degree work proposes to build a selfawareness engine based on runtime models for IoT systems. Through the specifications contained in these models, the engine can execute pre-reflective and reflexive selfawareness processes with the support of collection methods, calculation methods, and analysis models. These processes generate metrics to assess the state and possible evolution of the IoT system and its environment and recommend prescriptive actions, if necessary.

Keywords: Model-Driven Engineering (MDE), Models at Runtime (models@run.time), Internet of Things (IoT), Self-Awareness

Translated by:



Sergio Ochoa