



UNIVERSIDAD DEL AZUAY

Facultad de Ciencias de la Administración

Escuela de Ingeniería en Sistemas y Telemática

Configurador web de capacidades de autoconsciencia basado en modelos en tiempo de ejecución para sistemas de Internet de las Cosas (Internet of Things – IoT)

Trabajo de titulación previo a la obtención del grado en

Ingeniero en Sistemas y Telemática

Autor:

Diego Fabian Bonifaz Barba

Director:

Ing. Lenin Erazo Garzón MSc.

Cuenca - Ecuador

2022

DEDICATORIA

El presente trabajo de titulación va dedicado primero a Dios que fue mi guía, a mi esposa e hijos quienes siempre estuvieron apoyando y motivando a lo largo de este camino, a mis padres y hermanos que me alentaron a continuar.

Diego Fabián Bonifaz B.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por permitirme alcanzar una meta más en mi vida, a mi familia por su apoyo constante, a los profesores de la Universidad del Azuay por brindarme sus conocimientos.

También quiero agradecer de manera especial al Ing. Lenin Erazo Garzón por su paciencia, dedicación y guía en el trayecto de este trabajo de titulación.

Diego Fabián Bonifaz B.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

DEDICATORIA.....	I
AGRADECIMIENTO.....	II
ÍNDICE DE CONTENIDOS	III
ÍNDICE DE TABLAS	V
ÍNDICE DE FIGURAS.....	V
ÍNDICE DE ANEXOS.....	VI
RESUMEN.....	VII
ABSTRACT.....	VIII
INTRODUCCIÓN	9
CAPÍTULO I.....	11
1. MARCO TEÓRICO Y ESTADO DEL ARTE	11
1.1. Internet de las cosas (Internet of Things - IoT).....	11
1.1.1. <i>Características del IoT</i>	11
1.1.2. <i>Tecnologías habilitantes</i>	13
1.2. Desarrollo dirigido por modelos (MDD)	15
1.2.1. <i>Componentes de MDD</i>	16
1.3. Modelos en tiempo de ejecución (models@runtime)	17
1.3.1. <i>Aspectos a representarse con los models@runtime</i>	17
1.4. Autoconciencia computacional	19
1.4.1. <i>Tipos de autoconsciencia (pública y privada)</i>	19
1.4.2. <i>Niveles de autoconsciencia</i>	19
1.5. Autoconciencia en Internet de las Cosas	21
CAPÍTULO II	25
2. ANÁLISIS Y DISEÑO DEL CONFIGURADOR WEB DE AUTOCONSCIENCIA.....	25
2.1. Visión general de la infraestructura de autoconsciencia.....	25
2.2. Especificaciones de requerimientos del configurador de capacidades de autoconsciencia de un sistema IoT.	30
2.2.1. <i>Descripción de actores</i>	30
2.2.2. <i>Descripción de casos de uso del configurador de capacidades de autoconsciencia de un sistema IoT</i>	31
2.2.3. <i>Descripción de requerimientos no funcionales del configurador de capacidades de autoconsciencia de un sistema IoT</i>	35
2.3. Diseño de la arquitectura del configurador de capacidades de autoconsciencia del sistema IoT.....	37
2.4. <i>Diseño de la base de datos relacional del configurador de autoconsciencia</i> ...	40
2.5. Diseño de interfaz de usuario del configurador de autoconsciencia.....	42

2.5.1. <i>Diseño visual</i>	42
2.5.2. <i>Iconografía</i>	43
2.5.3. <i>Estructura de interfaz de usuario</i>	44
CAPÍTULO III.....	46
3. INSTANCIACIÓN Y EVALUACIÓN DEL CONFIGURADOR WEB DE AUTOCONSCIENCIA.....	46
3.1. Herramientas de desarrollo	46
3.1.1. <i>¿Qué es Node.js?</i>	46
3.1.2. <i>¿Qué es Express.js?</i>	46
3.1.3. <i>¿Qué es MySql?</i>	47
3.2. Instalación y puesta en operación del configurador web de autoconsciencia....	47
3.3. Escenario IoT para la evaluación del configurador de autoconsciencia.	50
3.4. Creación del modelo de autoconsciencia para el escenario IoT de evaluación .	53
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	76
REFERENCIAS	78
ANEXOS.....	81

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Actor arquitecto de software	30
Tabla 2. Actor administrador del dominio de autoconsciencia	30
Tabla 3. Actor usuario final IoT	31
Tabla 4. Caso de uso gestionar sujetos de autoconsciencia	31
Tabla 5. Caso de uso gestionar objetos de autoconsciencia	32
Tabla 6. Caso de uso gestionar aspectos de autoconsciencia	33
Tabla 7. Caso de uso gestionar procesos de autoconsciencia.....	35
Tabla 8. Paleta de colores del diseño visual.....	42
Tabla 9. Tipografía de elementos del configurador Web de Autoconsciencia	43
Tabla 10. Iconografía	43
Tabla 11. Dispositivos para el escenario propuesto	52

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Arquitectura de la infraestructura de autoconsciencia	25
Figura 2. Descripción de actores	30
Figura 3. Diagrama de casos de uso del configurador web de capacidades de autoconsciencia	31
Figura 4. Diseño de la arquitectura del configurador de capacidades de autoconsciencia del sistema IoT	38
Figura 5. Diagrama entidad-relación de la base de datos del configurador web	41
Figura 6. Login de inicio de sesión	44
Figura 7. Página Web principal del configurador de autoconsciencia.....	45
Figura 8. Página Web principal de mantenimiento	45
Figura 9. Descarga de node.js	47
Figura 10. Configuración de package.json.....	48
Figura 11. <i>Instalación de la dependencia del framework Express.js para Node.js.</i>	48
Figura 12. Instalación de la dependencia de MySQL para Node.js	49
Figura 13. Dependencias instaladas	49
Figura 14. Configuración del archivo constants.ts.....	49
Figura 15. Inicio de sesión y creación de usuario	50
Figura 16. Escenario IoT de evaluación.....	52
Figura 17. Ingreso de datos para el modelo de autoconsciencia	53
Figura 18. Lista de modelos de autoconsciencia.....	54
Figura 19. Selección e incorporación de sujetos de autoconsciencia.....	54
Figura 20. Incorporación de objetos de autoconsciencia	55
Figura 21. Ventana de escalas	57
Figura 22. Formulario de incorporación de una escala	57
Figura 23. Listado de escalas	58
Figura 24. Unidades de medida.....	58
Figura 25. Agregar unidades de medida	59
Figura 26. Listado de Unidades de medida	59
Figura 27. Métricas	60
Figura 28. Agregar métricas.....	60
Figura 29. Listado de métricas para el modelo de autoconsciencia - control ambiental ...	61

Figura 30. Criterios de decisión y umbrales.....	62
Figura 31. <i>Agregar criterio de decisión</i>	62
Figura 32. <i>Listado de criterios de decisión</i>	63
Figura 33. <i>Agregar umbral para niveles de riesgo de concentración de monóxido de carbono</i>	63
Figura 34. <i>Listado de umbrales para el criterio de decisión: Nivel de satisfacción de temperatura ambiente</i>	64
Figura 35. <i>Listado de umbrales para el criterio de decisión: Nivel de riesgo de concentración del monóxido de carbono</i>	64
Figura 36. <i>Listado de umbrales para el criterio de decisión: Nivel de uso (carga) de CPU</i>	65
Figura 37. <i>Recursos de implementación</i>	65
Figura 38. <i>Incorporación de recursos de implementación de tipo Función (Parámetros)</i>	66
Figura 39. <i>Incorporación de recursos de implementación de tipo Función (Instrucciones)</i>	67
Figura 40. <i>Incorporación de recurso de implementación de tipo Función (Tipo de salida)</i>	67
Figura 41. <i>Listado de Recursos de implementación para el modelo de autoconsciencia de control ambiental</i>	68
Figura 42. <i>Aspectos de autoconsciencia individuales</i>	69
Figura 43. <i>Incorporación de aspecto de autoconsciencia</i>	69
Figura 47. <i>Incorporación de proceso de autoconsciencia pre-reflexivo</i>	70
Figura 48. <i>Método de recolección de datos</i>	71
Figura 49. <i>Incorporación del modelo de análisis</i>	71
Figura 50. <i>Listado de procesos pre-reflexivos para el modelo de aprendizaje-control</i>	72
Figura 51. <i>Incorporación de proceso reflexivo</i>	72
Figura 52. <i>Incorporación del método de cálculo</i>	73
Figura 53. <i>Incorporación de modelo de análisis datos</i>	73
Figura 54. <i>Listado de proceso reflexivo para el modelo de aprendizaje-control ambiental</i>	74
Figura 55. <i>Modelo de aprendizaje-control ambiental</i>	74

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Casos de uso.....	81
Anexo 2. Diccionario de la base de datos relacional para el configurador de autoconsciencia para sistemas IOT.	100

RESUMEN

Los sistemas IoT brindan soluciones innovadoras para mejorar la calidad de vida de las personas y el desarrollo sostenible de la sociedad y la industria; sin embargo, existen muchos desafíos relacionados con el entorno dinámico e incierto en el que operan, siendo la autoconsciencia computacional y los modelos en tiempo de ejecución un enfoque apropiado para abstraer la complejidad de la evolución de los sistemas IoT. Por lo tanto, en este trabajo a partir de los requerimientos de alto nivel de una infraestructura de autoconsciencia para sistemas IoT, se desarrolla, despliega y evalúa un configurador web de capacidades de autoconsciencia de sistemas IoT, siendo el configurador uno de los componentes más importantes de la infraestructura. Este configurador utiliza un meta-modelo de arquitectura y autoconsciencia a fin de crear modelos en tiempo de ejecución para sistemas IoT que incluyan especificaciones sobre los objetos, sujetos, aspectos, procesos y métodos de autoconsciencia. Para la evaluación se realiza un estudio de caso del configurador en el subdominio de ambientes de vida asistida.

Palabras Clave: Autoconsciencia, IoT, Internet de las cosas, Modelo en tiempo de ejecución, `models@runtime`

ABSTRACT

IoT systems provide innovative solutions to improve people's quality of life and the sustainable development of society and industry. However, there are many challenges related to the dynamic and uncertain environment in which they operate. Computational self-awareness and runtime models are an appropriate approach to abstract the complexity of evolving IoT systems. Therefore, based on the high-level requirements of a self-aware middleware for IoT systems, a web configurator of self-aware capabilities for IoT systems was developed, deployed, and evaluated. This configurator is one of the essential components of the middleware. This configurator uses an architecture and a self-awareness meta-model to create runtime models for IoT systems. These include specifications about self-aware objects, subjects, aspects, processes, and methods. For the evaluation, a proof of concept of the configurator was carried out in the subdomain of assisted living environments.

Keywords: Middleware, Self-awareness, IoT, Internet of Things, Model at runtime, models@runtime.



Translated by

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Diego Bonifaz', enclosed within a circular scribble.

Diego Bonifaz