

Índice

Índice de figuras.....	IV
Índice de tablas	XI
Acrónimos	XIII
1. Introducción	1
1.1. Contexto	1
1.2. Motivaciones	4
1.3. Objetivos de la tesis	6
1.4. Principales aportaciones.....	7
1.4.1. Artículos, Congresos y Jornadas.....	7
1.4.2. Proyectos de investigación.....	10
1.4.3. Desarrollo software	12
1.5. Organización de la memoria.....	13
2. Estado del arte tecnológico	15
2.1. Introducción.....	15
2.2. Arquitecturas NGIoT de referencia.....	17
2.3. Edge computing en NGIoT	34
2.4. Aprendizaje automático para indicadores compuestos	47
2.4.1. Predicción de series temporales en NGIoT	47
2.4.2. Aprendizaje federado (<i>Federated Learning</i>)	58
2.5. Otras tecnologías habilitadoras	63
2.5.1. Virtualización y escalabilidad	63
2.5.2. Seguridad en IoT	67
2.5.3. DevSecOps.....	73
2.5.4. Tactile Internet	79

3.	Definición e implementación de la arquitectura	85
3.1.	Introducción.....	85
3.1.1.	Requisitos.....	87
3.1.1.1.	Requisitos técnicos.....	88
3.1.1.2.	Requisitos funcionales.....	90
3.1.1.3.	Requisitos de servicio.....	92
3.1.2.	Metodología.....	94
3.2.	Visión general.....	97
3.2.1.	Principios de diseño.....	97
3.2.2.	Estructura modular y vistas.....	107
3.3.	Adquisición de datos.....	111
3.3.1.	Preprocesado y armonización de datos.....	112
3.3.2.	Concentración de información contextual.....	123
3.4.	Procesamiento de datos.....	130
3.4.1.	Persistencia de la información.....	131
3.4.2.	Ejecución de servicios.....	139
3.5.	Visualización.....	146
3.6.	Seguridad y privacidad.....	157
3.7.	Solución integrada.....	168
4.	Cálculo y predicción de índices compuestos	177
4.1.	Estado de la técnica.....	177
4.1.1.	Introducción.....	178
4.1.2.	Construcción de índices compuestos.....	183
4.1.2.1.	Creación del marco inicial.....	185
4.1.2.2.	Operaciones matemáticas sobre los indicadores.....	192
4.1.2.3.	Otras consideraciones.....	203
4.1.2.4.	Representación de resultados.....	204
4.1.3.	Herramientas software disponibles.....	206
4.2.	Implementación de los servicios.....	215
4.2.1.	Consideraciones generales.....	215
4.2.2.	Cálculo de indicadores compuestos.....	222
4.2.3.	Predicción de índices.....	237
4.2.3.1.	Predicción de indicadores cKPIs.....	237
4.2.3.2.	Propuesta de aprendizaje federado.....	245
4.2.4.	Servicios auxiliares.....	248
5.	Aplicación en entornos reales	263
5.1.	Introducción.....	263
5.2.	Metodología de aplicación y despliegue de la solución.....	267
5.2.1.	Visión general.....	267
5.2.2.	Fase I – Conceptual y de servicio.....	268

5.2.3. Fase II – Arquitectura IoT y conectores	270
5.2.4. Fase III – Configuración y resultados	273
5.3. Instanciación <i>cloud</i> en ciudad-puerto para análisis de congestión de tráfico.....	275
5.4. Instanciación <i>cloud</i> en puertos marítimos para análisis de impacto medioambiental.....	297
5.5. Instanciación <i>edge</i> para la evaluación rápida de impacto medioambiental a través de un <i>kit</i> IoT	326
5.6. Instanciación <i>cloud</i> en un entorno de terminal logística para predicción de distancia social en época de COVID-19.....	339
5.7. Instanciación <i>híbrida</i> para la recomendación de asignación en transporte logístico por carretera	350
6. Consideraciones hacia la transferencia tecnológica.....	359
6.1. Perspectiva de financiación	360
6.2. Análisis del resultado explotable	364
6.3. Esbozo de un modelo de negocio	370
7. Conclusiones	377
7.1. Grado de cumplimiento de objetivos.....	378
7.2. Conclusiones globales	382
7.3. Reflexiones sobre la innovación.....	388
7.4. Trabajos futuros.....	390
Referencias	395
Apéndices	433
Apéndice A – Diagramas de clases del servicio CIC	434
Apéndice B – Características de las fuentes de datos	438
Apéndice C – Docker compose de instalación de la arquitectura.....	442