

Estudio de tele-lectura para operadores públicos de aguas



Asociación Española de Operadores
Públicos de Abastecimiento y Saneamiento

Estudio de tele-lectura para empresas públicas de aguas



Asociación Española de Operadores
Públicos de Abastecimiento y Saneamiento

EDITA

Asociación Española de Operadores Públicos de Abastecimiento y Saneamiento

DIRECCIÓN Y COORDINACIÓN

Babiano Amelibia, L.

Gerente de la Asociación Española de Operadores Públicos de Abastecimiento y Saneamiento.

AUTORES

Torralba Silgado, J.A.

Dr. Ingeniero Industrial. Catedrático del Departamento de Ingeniería Electrónica de la Universidad de Sevilla (AICIA).

González Carvajal, R.

Dr. Ingeniero Industrial. Catedrático del Departamento de Ingeniería Electrónica de la Universidad de Sevilla (AICIA).

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al personal técnico y directivo de EMASESA Metropolitana, puesto que sin sus aportaciones no habría sido posible desarrollar este trabajo. Concretamente a la División de Transformación Digital liderada por Dña. Leonor Rodríguez Catalán; a la División de Infraestructuras, liderada por D. Jose Manuel Puerto; a la División de Producción, liderada por D. Angel Mena Miranda y, dentro de ella, al responsable del contrato de Tele-lectura, D. Moises Roldán Rodríguez; a la División de Consumo y servicios, liderada por D. Alfonso García Sánchez y, finalmente; al técnico de contratación D. Francisco de Borja Rocha Martín.

DISEÑO Y MAQUETACIÓN

Ramírez Ramírez, A.

Técnico de proyectos de AEOPAS.

Ficha catalográfica:

Babiano Amelibia, L. Dir. Torralba, Silgado A.J. y González Carvajal R. *Estudio de tele-lectura* para empresas públicas de aguas. Asociación Española de Operadores Públicos de Abastecimiento y Saneamiento (AEOPAS). Sevilla. 2023.

ISBN: 978-84-09-62349-5.

Depósito Legal: SE 1595-2024.

© **de la edición:** Asociación Española de Operadores Públicos de Abastecimiento y Saneamiento.

© **de los textos:** los autores.

© **de las imágenes:** los propietarios.

Índice

	Pag.
Presentación	11
1. Acrónimos.	15
2. Antecedentes.	21
3. Introducción.	25
4. <i>Smart Metering</i> y transformación digital.	29
4.1. Concepto de <i>Smart Metering</i> .	31
4.2. Motores de cambio.	33
4.3. Transformación digital.	33
4.4. Plan de tele-lectura.	35
5. Situación actual de las soluciones tecnológicas de tele-lectura.	37
5.1. Soluciones no-licenciadas.	41
5.1.1. Wize.	42
Capa física Wize.	42
Capas MAC y de enlace Wize.	42
Capa de transporte y aplicación Wize.	43
5.1.2. LoRaWAN.	43
Capa física LoRaWAN.	43
Capa MAC LoRaWAN.	43
5.1.3. SigFox.	44
Capa física de SigFox.	45
Capa MAC SigFox.	45
5.2. Soluciones licenciadas.	46
5.2.1. SIM y eSIM.	46
5.2.2. NB-IoT.	47
Modulación de la capa física NB-IoT.	47
Pila de protocolos NB-IoT.	47
5.2.3. LTE-M.	48
Capa física LTE-M.	48
Capa MAC LTE-M.	48

	Pag.
5.3. Comparación de soluciones técnicas.	49
5.4. Adecuación de las LPWAN al <i>Smart Metering</i> de una operadora de aguas.	51
5.4.1. Adecuación general de las tecnologías LPWAN.	51
5.4.2. Escenarios para una operadora de aguas.	52
5.4.3. Adecuación de las tecnologías LPWAN en función del escenario.	52
5.5. 5G-IoT.	53
5.6. Duración de las baterías.	55
5.7. Tiempos de reposición de los terminales.	56
5.8. Gestión de terminales y contadores.	57
Respecto de los contadores.	57
Respecto de los dispositivos.	57
5.9. Conclusiones del estudio de soluciones tecnológicas.	58
5.9.1. Recomendaciones del estudio.	59
6. Modelos de operación de tele-lectura.	61
6.1. Estado actual.	63
6.2. Hipótesis de partida.	65
6.3. Modelos de operación.	67
6.4. Modelo 1. AMR totalmente propietario.	68
Comentarios generales de este modelo de operación.	69
6.5. Modelo 2. Comunicaciones como servicio.	70
Comentarios generales de este modelo	71
6.6. Modelo 3. <i>Metering</i> como servicio.	72
Comentarios generales de este modelo:	72
7. Soluciones de tele-lectura disponibles en el mercado.	75
Diehl Metering.	77
SUEZ.	77
Itron.	77
Sensus.	78
Kamstrup.	78

	Pag.
8. Caso de operadora de aguas. Posibles estrategias.	79
8.1. Parque actual de contadores y su renovación.	81
8.2. Estudio cuantitativo de tecnologías de tele-lectura.	82
8.2.1. Datos de partida.	82
8.2.2. Estudio de costes.	84
8.2.3. Resultados del estudio.	85
8.2.4. Propuesta de implantación con elevada cobertura inicial, bajo coste, con inversión distribuida en el tiempo.	88
8.2.5. Otros costes no considerados en el estudio.	89
8.3. Estudios de los diferentes modelos de transformación.	90
8.3.1. Transformación con Modelo 1. AMR totalmente propietario.	90
8.3.2. Transformación con Modelo 2. Comunicaciones como servicio.	90
8.3.3. Transformación con Modelo 3. <i>Metering</i> como servicio.	91
8.3.4. Comparación cuantitativa de modelos de tele-lectura.	91
9. Casos de uso de datos de tele-lectura.	93
9.1. Estado del arte.	95
9.1.1. Modelo hidráulico.	96
9.2. Infraestructura de datos.	97
9.2.1. Captación de integración de datos: Plataforma IoT.	97
9.2.2. Almacenamiento y procesamiento <i>Big Data</i> en aplicaciones AMI.	98
Fuentes de datos.	99
Integración de datos.	100
Almacenamiento de datos.	100
Análítica de datos en operadores de aguas.	101
Visualización de datos.	101
Arquitectura de Referencia.	101
9.3. Herramientas de inteligencia artificial en los operadores de aguas.	103
9.3.1. Para la gestión comercial.	104
9.3.2. Para la optimización y decisión en el suministro.	105
9.3.3. Para la inteligencia de negocio.	106

	Pag.
9.3.4. Para la gestión del conocimiento.	107
9.3.5. Para la imagen corporativa.	107
9.3.6. Para la ciberseguridad.	107
9.4. Herramientas comerciales de analítica de datos.	108
9.4.1. Sensus Analytics.	109
9.4.2. Global Omnium-Idrica go-aigua.	109
9.5. Herramientas de analítica de datos más adecuadas para nuestra empresa.	111
10. Consideraciones acerca de la transformación AMI.	113
Consideraciones generales.	115
Consideraciones de AMR y plataforma IoT.	116
Consideraciones de infraestructura para los sistemas de gestión e información.	116
Consideraciones de almacenamiento de datos.	116
Consideraciones de modelo hidráulico.	116
Consideraciones de herramientas de gestión de clientes, de gestión en redes y de gestión de obras y servicios.	117
Consideraciones de herramientas de inteligencia de negocio, gestión de activos e imagen corporativa.	117
Consideraciones para la integración de un nuevo sistema de gestión e información AMR.	117
11. Arquitectura del sistema.	119
11.1. Arquitectura propuesta.	121
11.2. Estrategia de transformación.	121
Fase 1. Introducción de los datos de tele-lectura y extracción de los datos para su gestión por el modelo actual.	123
Fase 2. Uso de los datos por el resto de sistemas de gestión e información y transformación parcial de los mismos.	125
Fase 3: Integración de la tele-lectura en los sistemas de gestión e información.	125
12. Conclusiones del Estudio.	127

Anexo I. Extracto de ejemplo de pliego de prescripciones técnicas particulares para la modalidad de contratación: Comunicaciones como servicio.	131
A-I.1. Antecedentes.	133
A-I.2. Objeto del contrato.	135
A-I.3. Normativa de aplicación.	135
A-I.4. Expresiones convenidas/definiciones.	136
A-I.4.1. Arquitectura del sistema de tele-lectura de la operadora.	136
A-I.4.2. Definiciones generales.	137
A-I.4.2.1. Definición general de un contador de agua con comunicación integrada NB-IoT para el Lote L1.	137
A-I.5. Requisitos técnicos.	137
A-I.5.1. Requisitos técnicos mínimos requeridos.	137
A-I.5.1.1. Especificaciones técnicas de los materiales de los contadores.	137
A-I.5.1.2. Dimensiones y requisitos de instalación de los contadores.	138
A-I.5.1.3. Características metrológicas de los contadores.	139
A-I.5.1.4. Especificaciones de autonomía.	140
A-I.5.1.5. Sistema de comunicaciones NB-IoT.	141
A-I.5.1.6. Subsistema de lectura y memoria interna.	143
A-I.5.1.7. <i>Middleware</i> de operación y gestión de las comunicaciones e interfaz con la plataforma de tele-lectura de la operadora de aguas.	144
A-I.5.2. Requisitos mínimos funcionales para los contadores con comunicación integrada NB-IoT.	147
A-I.5.2.1. Modos de operación.	147
A-I.5.2.2. Parámetros técnicos de operación del equipo.	148
A-I.5.3. Servicio de conectividad de datos NB-IoT.	148
A-I.5.3.1. Alcance.	148
A-I.5.3.2. Implantación del servicio.	149
A-I.5.3.3. Actuaciones previas al comienzo de la prestación del servicio de conectividad.	149
A-I.5.3.4. Portabilidad entre distintos operadores del servicio de conectividad.	150
A-I.5.4. Requisitos técnicos.	151
A-I.5.4.1. Curvas de consumos clasificados.	151
A-I.5.4.2. Materiales en contacto con agua potable.	151

	Pag.
A-I.6. Supervisión y control. medios técnicos y humanos.	154
A-I.6.1. Localizaciones y tasas de rechazo.	154
A-I.6.2. Niveles de servicio exigidos.	154
A-I.6.3. Gestión y monitorización de incidencias y calidad de las comunicaciones durante la prestación del servicio de conectividad NB-IoT.	155
A-I.6.4. Responsabilidad del jefe de proyecto.	155
A-I.6.5. Tiempos de respuesta y gestión de las incidencias.	155
A-I.7. Suministro de equipos.	156
A-I.7.1. Condiciones de la entrega.	156
A-I.8. Penalizaciones y causas de resolución del contrato.	158
A-I.8.1. Otras penalizaciones y causas de resolución.	158
A-I.8.1.1. Relación de obligaciones esenciales cuyo incumplimiento puede llevar aparejada la resolución del contrato.	159
A-I.8.1.2. Condiciones especiales de ejecución.	160
A-I.9. Garantías de los equipos.	160
A-I.9.1. Condiciones.	160
A-I.9.2. Duración.	160
A-I.9.3. Gastos incluidos en la garantía.	161
A-I.9.4. Aplicación de las garantías.	161

Anexo II. Índice de figuras. 163

Presentación



Luis Babiano

Gerente de la Asociación Española de Operadores
Públicos de Abastecimiento y Saneamiento

En un breve periodo de tiempo, nuestra sociedad han afrontado varios episodios convulsos marcados por las consecuencias del Covid19, así como por el crecimiento acelerado de la inflación y los costes energéticos. En este complejo escenario, las empresas dedicadas a la gestión del ciclo integral del agua afrontan otro problema acuciante —especialmente en el sur y el mediterráneo— como es la actual sequía.

Su impacto es evidente y copa a diario los titulares de los medios de comunicación por la amenaza que supone para el conjunto de la población, el mundo rural, las industrias y los servicios. Las sequías en nuestro territorio son recurrentes, sin embargo, esta sequía es diferente debido a que, con el desarreglo climático ya instalado, el clima está virando hacia temperaturas más elevadas y menores precipitaciones, aumentando la probabilidad de lluvias torrenciales. Este cambio de modelo complica la gestión del agua al tener que planificar ante unos patrones cambiantes que no se ajustan a los tradicionales. El margen para la construcción de nuevas infraestructuras que eleven la capacidad del abastecimiento es muy limitado, de ahí que a corto plazo la gran fórmula sea seguir elevando al máximo la eficiencia.

En plena sociedad del conocimiento, aún no se dispone de la información completa sobre el ciclo del agua ni de las pérdidas que se producen en las redes de distribución por fugas, roturas o filtraciones. Ni mucho menos hemos desarrollado mecanismos de comunicación con nuestros ciudadanos sobre cuanto consume diariamente. Los operadores públicos tenemos la exigencia de adaptar nuestra gestión a la nueva sociedad, una socie-

dad más exigente y preparada, y que demanda más anticipación, más información y participar en la toma de decisiones. La sociedad reclama una actitud proactiva en la gestión de fenómenos como la actual sequía. Además, la digitalización debe permitir que la toma de decisiones sea más transversal, más transparente, implicando de una manera integrada y segura a todas las áreas y procesos. La digitalización permitirá situar al ciudadano en el centro de nuestra gestión.

Por esta razón, los operadores públicos estamos obligados a adoptar de forma urgente sistemas conectados e inteligentes para las infraestructuras de suministro y depuración de una forma planificada. El objetivo principal es lograr la mayor eficiencia e información posible en la gestión del agua y en la calidad del servicio que se presta a la ciudadanía.

En el caso del estado español, el reto de la digitalización del agua se verá reforzado por el “Proyecto Estratégico para la Recuperación y Transformación Económica (PERTE) de Digitalización del Ciclo del Agua” aprobado hace pocos meses, que modernizará la gestión del agua en las ciudades, el regadío y la industria.

Se estima que la inversión total hasta 2026 ronde los 3.000 millones de euros y, por su alta importancia estratégica, AEOPAS organiza en este periodo varias jornadas técnicas para la implementación de proyectos por parte de los operadores y, al mismo tiempo, presenta este Estudio de tele-lectura para empresas públicas de aguas, abordando una de las materias que más importancia está teniendo en las convocatorias de la mencionada Digitalización del Ciclo del Agua, la accesibili-

dad a la información por parte de gestores y usuarios para conocer y, consecuentemente, actuar en pro de la mayor eficiencia en el suministro y el consumo de agua. En este caso, la temática protagonista del estudio realizado es la implantación de contadores con tele-lectura que facilitan el control en continuo de los consumos de abonados.

Así pues, la presente publicación detalla cuáles son las peculiaridades que tiene la diferentes soluciones tecnológicas de contadores de tele-lectura, identificando las potencialidades y debilidades de cada una de las modalidades de transmisión, así como los modelos operativos, estrategias, el uso de datos, etc. que mayormente se aconsejan para la gestión del servicio de abastecimiento de aguas.

Finalmente, la presente publicación incorpora un modelo de pliego de especificaciones técnicas para el contrato de implantación y mantenimiento de los sistemas de tele-lectura por parte de una operadora de servicios de abastecimiento de agua potable, una herramienta práctica para replicar de forma eficiente aun sabiendo que serán necesarias diferentes modificaciones para su adaptación a las particularidades de cada sistema.

Todo este trabajo ha sido fruto de una colaboración desinteresada de un grupo de expertos con gran experiencia en la puesta en servicio de estos sistemas, así como en la redacción de proyectos para su implantación. Principalmente, desde AEOPAS queremos agradecer a José Antonio Torralba Silgado y Ramón González Carvajal catedráticos del Departamento de Ingeniería Electrónica de la Universidad de Sevilla, por su gran labor en plasmar de forma sistemática las cuestiones principales a tener en cuenta y las ventajas de las diferentes opciones planteadas. Por otra parte, agradecemos también a un grupo muy nutrido de técnicos de la operadora de aguas EMASESA Metropolitana que han trabajado en diferentes apartados y han contribuido, sin lugar a dudas, a mejorar el resultado del estudio que aquí ofrecemos.

AEOPAS es una Asociación que, entre sus fines, está la promoción de estudios que contribuyan a mejorar la eficiencia del servicio de abastecimiento y saneamiento entre los operadores públicos de agua, más aún si cabe en momentos como el presente donde, como se ha comentado, sufrimos una sequía de especial profundidad y dilatación temporal. En definitiva, la mayor capacidad y experiencia de unos operadores frente a otros es lo que nos hace promover el intercambio de buenas prácticas como ésta que beneficie por las sinergias que genera al conjunto de todos los entes asociados.

1. Acrónimos.

2D: Dos dimensiones (*two-dimensional*).

3D: Tres dimensiones (*three-dimensional*).

2G, 3G, 4G y 5G: Segunda, tercera, cuarta, quinta generación de telefonía móvil.

3GPP: *3rd Generation Partnership Project*.

5G NR: 5G nueva radio (*New Radio*).

ACK: Confirmación de recepción "*Acknowledgement*".

AEAS: Asociación Española de Abastecimiento y Saneamiento.

AES: Estándar de encriptación avanzadas (*Advanced Encryption Standard*).

AMI: Infraestructura avanzada de contadores (*Advanced Metering Infrastructure*).

AMR: Lectura automatizada de contadores (*Automated Meter Reading*).

API: Interfaces de programas de aplicación (*Application Programming Interfaces*).

APN: Nombre del punto de acceso "*Access Point Name*".

APP: Aplicación (*Application*).

BLE: *Bluetooth* de baja energía (*Bluetooth Low Energy*).

BO: Objeto de negocios (*Business Object*).

BOE: Boletín Oficial del Estado.

BW: Ancho de banda (*Band-Width*).

CaaS: Comunicación como servicio (*Communication as a Service*).

CAPEX: Desembolsos de capital (*CAPital EXpenditures*).

Cat: Categoría (*Category*). Se aplica a LTE-M.

CBC: Encadenado de bloques de cifra (*Cipher Block Chaining*).

CCM: Contador con CBC-MAC (*Counter with CBC-MAC*).

CDMA: Acceso múltiple con detección de colisiones (*Collision Detection Multiple Acces*).

CCOP: Centro de Control de Operaciones y Planificación.

CEN: Comité Europeo de Estandarización (*Comité Européen de Normalisation*).

CIS: Sistema de Información del cliente (*Customer Infomation System*).

CMMI: Integración de sistemas modelos de madurez de capacidades (*Capability Maturity Model Interconnection*).

CoAP: Protocolo de aplicación restringido (*Constrained Application Protocol*).

CPU: Unidad Central de Procesamiento (*Central Processing Unit*).

CSS: Espectro expandido de Chirp (*Chrip Spread Spectrum*).

DA: Analítica de Datos (*Data Analytics*).

DAO: Objeto de acceso de datos (*Data Access Object*).

DaaS: Datos como servicio (*Data as a Service*).

DB: Base de datos (*Data Base*).

dBm: Decibelios-miliwatios "*decibel-milliwatts*".

DBPSK: Modulación por clave de desplazamiento de fase binaria diferencial (*Differential Binary Phase Shift Keying*).

DFS: Sistema de archivos distribuido (*Distributed File System*).

DLMS: Especificación de Mensajes en Lenguaje de Dispositivo (*Device Language Message Specification*).

DMA: Área Medida de Distrito (*District Metered Area*).

DSSS: Espectro expandido por secuencia directa (*Direct Sequence Spread Spectrum*).

DTO: Objeto de transferencia de datos (*Data Transfer Object*).

eMTC: Comunicación tipo máquina mejorada (*enhanced Machine Type Communication o LTE-M Cat M1*).

EMP: Error medio ponderado.

EPC: Código de paquete extendido (*Extended Packet Code*).

ERP: Planificación de los recursos de empresa (*Enterprise Resource Planning*).

ENAC: “Entidad Nacional de Acreditación”.

eNB: Estación base NB-IoT (eNodeB).

ESB: Bus de Servicios de Empresa (*Enterprise Service Bus*).

eSIM: SIM electrónica (*embedded SIM*).

eUICC: Tarjeta de circuito integrado universal embebida (*embedded Universal Integrated Circuit Card*).

ESMIG: *European Smart Energy Solution Providers*.

FDM: Multiplexado por división de frecuencia (*Frequency Division Multiplexing*).

FDMA: Acceso múltiple por división de frecuencia (*Frequency Division Multiple Access*).

FHSS: Espectro expandido por salto de frecuencia (*Frequency Hopping Spread Spectrum*).

FOTA: Programación Remota del Firmware o “*Firmware Over The Air*”.

FS: Sistema de Archivos (*File System*).

FW: *Firmware*.

GIS: Sistema de información geográfica (*Geofgraphical Information System*).

GFSK: Modulación por clave de desplazamiento en frecuencia gaussiano (*Gaussian Frequency Shit Keying*).

GPRS: Servicio de radio general de paquetes (*General Packet Radio Service*) – 2G.

GSM: Sistema global para comunicaciones móviles (*Global System for Mobile Communication*) – 3G.

GSMA: Asociación del sistema global para comunicaciones móviles “*Global system for mobile communications Association*”.

HTTP: Protocolo de transferencia de hipertexto (*Hypertext Transfer Protocol*).

HW: *Hardware*.

IA: Inteligencia Artificial (*Artificial Intelligence*).

IaaS: Infraestructura como servicio (*Infrastructure as a Service*).

ICC: Tarjeta de circuito integrado “*Integrated Circuit Card*”.

ICT: Infraestructuras Comunes de Telecomunicación.

IEEE: Instituto de ingenieros eléctricos y electrónicos (*Institut of Electrical and Electronics Engineers*).

IM: Modelo de Información (*Information Model*) o Mensajería instantánea (*Instant Messaging*).

IoT: Internet de las Cosas (*Internet of Things*).

IP: Protocolo de Internet (*Internet Protocol*).

ISA: Sociedad internacional de automatización (*International Society of Automation*).

ISM: Industrial, científico y médico (*Industrial, Scientific and Medical*).

ISO: Organización internacional de estandarización (*International Organization for Standardization*).

ITU: Unión internacional de telecomunicaciones (*International Telecommunication Union*).

JDBC: *Java DataBase Connectivity*.

JSF: *JavaService Faces*.

KPI: Índice de prestaciones clave (*Key Performance Index*).

LIFO: El último que entra es el primero que sale “*Last In First Out*”.

LoRa: Rango amplio (*Long Range*).

LPWAN: Redes inalámbricas de área amplia, de baja potencia (*Low Power Wide Area Network*).

LTC: Litio-cloruro de tionilo (*Lithium Thionyl Chloride*). Un tipo de baterías de ultra-larga duración.

LTE: Evolución de largo plazo (*Long Term Evolution*). A veces publicitada como 4G, aunque estrictamente no es.

LTE-M: LTE para máquinas (*LTE for Machines*).

LwM2M: *OMA Lightweight M2M*.

M2M: Máquina-máquina (*Machine-to-Machine*).

MaaS: Monitorización como servicio (*Monitoring as a Service*).

MAC: Control de acceso al medio (*Medium Access Control*) o Código de autenticación de mensajes (*Message Authentication Code*).

MIMO: Entradas múltiples - salidas múltiples (*Multiple-Input Multiple-Output*).

ML: Aprendizaje máquina (*Machine Learning*).

MME: Entidad de gestión de movilidad (*Mobility Management Entity*).

MQTT: Transporte de telemetría por encolado de mensajes (*Message Queuing Telemetry Transport*).

MQTT-SN: MQTT para redes de sensores (*MQTT for Sensor Networks*).

NB: Banda estrecha (*Narrow Band*).

NAS: Estrato sin acceso (*Non-Access Stratus*).

NB-IoT: IoT de banda estrecha.

NFC: Comunicación de campo cercano (*Near Field Communication*).

NIST: Instituto Nacional de Estándares y Tecnología (*National Institute of Standards and Technology*).

NSA: Agencia de seguridad nacional (de los EEUU) (*National Security Agency*).

OFDM: Multiplexado por división de frecuencia ortogonal (*Orthogonal Frequency Division Multiplexing*).

OLE: Incrustación y enlazado de objetos (*Object Linking and Embedding*).

OMA: *Open Mobile Alliance*.

OMS: Sistema de gestión operacional (*Operational Management System*).

OPEX: Gastos de operación (*Operational EXpenditures*).

OSI: Modelo de interconexión de sistemas abiertos (*Open System Interconnection Model*).

OT: Orden de Trabajo.

OTA-U: Actualización por el aire (*Over-The-Air Update*).

PaaS: Plataforma como servicio (*Platform as a Service*).

PDCCP: Protocolo de convergencia de paquetes de datos (*Packet Data Convergence Protocol*).

PERTE: Proyecto Estratégico para la Recuperación y Transformación Económica.

PDF: Formato de documento portátil (*Portable Document Format*).

PHY: Capa física (*PHYsical layer*).

PII: Identificación de Información Personal (*Personal Information Identification*).

PIM: Gestión de información de producto (*Product Information Management*).

PLC: Controlador de Lógica Programable (*Programmable Logic Controller*).

POI: Implementación pobre de ofuscación (*Poor Obfuscation Implementation*). Un proyecto de Apache.

QoS: Calidad de servicio (*Quality of Service*).

RAT: Tecnología de acceso radio (*Radio Access Technology*).

REST: Transferencia de estados representacional (*Representational State Transfer*).

RFID: Identificación por radio-frecuencia (*Radio Frequency IDentification*).

RFTDMA: Acceso Múltiple por División de Tiempo y Frecuencia Aleatoria (*Random Frequency Time Division Multiple Access*).

RLC: Control de enlace radio (*Radio Link Control*).

RRC: Control de recursos radio (*Radio Resource Control*).

RRHH: Recursos Humanos.

RTC: Reloj en tiempo real "*Real Time Clock*".

RSDA: Reglamento del Suministro Domiciliario de Agua.

RSP: Plataforma de provisión de SIM remoto (*Remote SIM Provisioning Platform*).

RSRP: Potencia recibida de las señales de referencia "*Reference Signals Received Power*".

RSRQ: Calidad recibida de las señales de referencia "*Reference Signal Received Quality*".

SaaS: Software como servicio (*Software as a Service*).

SAX: API simple para XML (*Simple API for XML*).

SCADA: *Supervisory Control And Data Acquisition*.

SCF-FDMA: FDMA de portadora única (*Singel Carrier FDMA*).

SCHC: Compresión de cabecera de contexto estático (*Static Context Header Compression*).

SDK: Kit de desarrollo software (*Software Development Kit*).

SF: Factor de difusión (*Spreading Factor*).

SIM: Módulo de identidad del abonado (*Suscriber Identity Module*).

SNR: Relación Señala a Ruido "*Signal To Noise Ratio*".

SOA: Arquitectura Orientada a Servicios (*Service Oriented Architecture*).

SOC: Centro de Operación de Servicios (*Service Operation Center*).

SQL: Lenguaje de peticiones estructurado (*Stuctured Query Language*).

SV: Servicio (*Service*).

SVM: Máquina de Vector-Soporte (*Support Vector Machine*).

SW: Software.

TCP: Protocolo de control de transmisión (*Transmission Control Protocol*).

TDM: Multiplexado por división de tiempo (*Time Division Multiplexing*).

TI: Tecnologías de la Información.

TIC: Tecnologías de la Información y de las Comunicaciones.

TLS: Seguridad de la capa de transporte (*Transport Layer Security*).

UDP: Protocolo de datagramas de usuario (*User Datagram Protocol*).

UE: Unión Europea o Equipo de usuario (*User Equipment*).

UML: Lenguaje de Modelado Unificado (*Unified Modeling Language*).

UNB: Banda ultra estrecha (*Ultra Narrow Band*).

UNE: Asociación Española de Normalización.

UTE: Unión Temporal de Empresas.

VO: Objetos de valor (*Value Objects*).

VoIP: Voz sobre IP (*Voice over IP*).

VSAT: Terminal de apertura muy pequeña (*Very Small Aperture Terminal*).

XML: Lenguaje de marcado extensible (*eXtensible Markup Language*).

WAN: Red de área amplia (*Wide Area Network*).

WLAN: Red inalámbrica de área local (*Wireless Local Area Network*).

WMAN: Red inalámbrica de área metropolitana (*Wireless Metropolitan Area Network*).

WPAN: Red inalámbrica de área personal (*Wireless Personal Area Network*).

2. Antecedentes.

Tras varias de décadas de trabajos conjuntos, orientados primeros a la digitalización y, posteriormente, a la transformación digital en las empresas de gestión del ciclo integral del agua, EMASESA, la empresa pública de aguas de Sevilla, encargó en el año 2020 al grupo de investigación del que soy responsable (Grupo de Ingeniería Electrónica de la Universidad de Sevilla), la redacción de un estudio del arte respecto al estado de la tele-lectura y al impacto que la adopción de esta tecnología podría tener en los diferentes aspectos de la empresa (técnico, económico, organizativo, financiero, etc.). Para ello se tomaron datos de la propia empresa y de su situación en ese momento, y se elaboraron diferentes casos de uso.

El estudio que, en aquel momento se realizó, demostró ser de mucha utilidad, no solo para introducir los diferentes aspectos de esta tecnología, sino, sobre todo, para comprender que la introducción de la tele-lectura no es más que uno de los pasos (en cualquier caso, un paso necesario) para la transformación digital de una operadora de aguas. El estudio fue posteriormente comentado, ampliado y mejorado en sus diferentes secciones, siendo finalmente entregado y aprobado en junio de 2021.

El creciente interés despertado en las compañías de aguas por el denominado “PERTE de digitalización del ciclo del agua”¹, promovido por el Gobierno de España, y financiado con fondos europeos del Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia², ha sugerido la conveniencia de hacer públicos los principales contenidos del estudio a la comunidad general de gestión integral del agua.

¹ <https://planderecuperacion.gob.es/como-acceder-a-los-fondos/pertes/perte-de-digitalizacion-del-ciclo-del-agua>.

² <https://planderecuperacion.gob.es>.

Con este objetivo, el estudio inicial se ha reformulado de forma más genérica, apartándonos del caso inicial de EMASESA y mostrando el caso general de una operadora pública (hipotética) correspondiente a una ciudad de tamaño medio, a la que podríamos adjudicar 125.000 habitantes.

Es necesario decir que todas las opiniones y comentarios que aquí se presentan son responsabilidad única de los autores del informe. También los son los datos que aquí se aportan y las estimaciones realizadas en los casos de uso presentados. Estos datos (sobre todo los que se corresponden a las diferentes tecnologías) cambian rápidamente, como consecuencia del inevitable desarrollo tecnológico. Los que aquí se han utilizado son los correspondientes al instante en que se ha realizado este estudio, por lo que los lectores interesados deberían comprobar los avances experimentados en los diferentes campos antes de tomar las decisiones correspondientes.

En cualquier caso, todos los datos que aquí se muestran se fundamentan tan sólo en la experiencia de los autores y su equipo de investigación, experiencia obtenida en proyectos de investigación y transferencia realizados con diferentes empresas del sector del agua a lo largo de tres décadas.

3. Introducción.

El gran cambio derivado de la transformación de la Sociedad de la Información afecta a todos los ámbitos de la sociedad, al que no son ajenas las operadoras de agua. Este cambio se sustenta en una revolución tecnológica fundamentada en las Tecnologías de la Información y de las Comunicaciones, que tiene sus pilares en los desarrollos de la tecnología de semiconductores, en la existencia de comunicaciones ubicuas con elevado ancho de banda, en la Internet de las Cosas y en la Inteligencia Artificial.

Este cambio posibilita el desarrollo de nuevos modelos de negocio, modifica, amplía y mejora los servicios que las operadoras ofrecen a sus usuarios, aumentando su eficiencia y calidad, y contribuye a una mejora de sus objetivos empresariales y sociales. Para hacer frente al mismo las operadoras de servicios de agua deben cambiar sus procesos y operaciones, ocupando espacios tradicionalmente reservados a otros ámbitos de negocio.

La tele-lectura es, sin duda, una de las tecnologías que posibilitan la transformación actual de las operadoras de aguas, y es el objetivo de este estudio compuesto por siete bloques:

- **Bloque I: Situación actual de las soluciones tecnológicas de tele-lectura disponibles.** El objetivo de este Bloque es la identificación de las soluciones tecnológicas disponibles en el mercado y su caracterización (capacidad de recolectar medidas, autonomía, alcance, coste de mantenimiento, obsolescencia...). Aquí, se formula el estado del arte asociado de cada tecnología con el objetivo de definir indicadores y métricas que permitan objetivar la selección de la mejor solución.

- **Bloque II: Modelos de operación de tele-lectura.** El objetivo de este Bloque es caracterizar los distintos modelos de operación de la tele-lectura en función de quién es el dueño de los contadores y/o de los módulos de lectura, así como del tipo de contrato con el operador (en el caso de utilizar comunicaciones operadas). Asimismo, se analizarán los modelos de tele-lectura como servicio y tele-lectura como infraestructura.
- **Bloque III: Soluciones disponibles en el mercado.** Se documentan las posibilidades reales de las tecnologías disponibles en función de la oferta que presentan los fabricantes (de equipos de comunicación, de infraestructura de red, de contadores, etc.). De esta forma, no sólo conoceremos las posibilidades tecnológicas, sino las que ofrece el mercado.
- **Bloque IV: Casos de operadoras, posibles estrategias.** Investigación sobre las posibles soluciones en una entidad ficticia pero representativa del mercado español, en función de la composición de su parque de contadores (mecánicos o electrónicos, individuales o comunitarios, en batería o aislados...). Dicha investigación tendrá en cuenta la edad del parque y considerará diferentes opciones de implantación de la tele-lectura.
- **Bloque V: Casos de uso de tele-lectura.** La tele-lectura proporciona una elevada cantidad de datos cuya utilidad no termina en la facturación del cliente, sino que tiene numerosos aspectos que proporcionan un elevado valor añadido a las empresas de gestión de aguas. Podemos clasificar los casos de uso en 5 tipos: 1) Previsión de la demanda de agua; 2) Análisis socio-económicos (económicos, sociodemográficos, físicos, tecnológicos, climáticos...); 3) Análisis de comportamiento (segmentación de clientes, perfiles de consumo, perfiles de clientes, detección y perfilado de hábitos de consumos...); 4) Categorización de eventos de agua (pérdidas, categorización del uso final del agua, detección de eventos para la protección y el aprovechamiento de los recursos y la infraestructuras...); y 5) Realimentación al usuario. La investigación en esta fase del estudio mostrará el estado del arte y considerará herramientas de análisis basadas en *Data Mining* y *Machine Learning*.
- **Bloque VI: Consideraciones acerca de la transformación AMI.** La transformación AMI de una empresa de aguas representa un reto que afecta a todos sus niveles: técnicos, organizativos y de gestión. En este bloque se realizarán algunas consideraciones de la transformación AMI en diferentes aspectos de la empresa.
- **Bloque VII. Arquitectura propuesta.** La elección de una arquitectura de datos es uno de los factores claves que determinan la eficiencia de los algoritmos (normalmente basados en Inteligencia Artificial) que los utilizan y, en último término la productividad de una empresa. En las empresas de gestión de aguas (*water-utilities*) los datos se han orientado tradicionalmente hacia la gestión de clientes y su facturación. Sin embargo, las nuevas aplicaciones basadas en análisis de datos que facilitan las técnicas de tele-lectura, fuerzan a definir una nueva arquitectura y a diseñar una adaptación no traumática a partir de la situación actual. En esta fase del estudio y, en lo que concierne a los datos de tele-lectura, se propondrá una arquitectura global de datos a nivel conceptual y se realizará una propuesta para el estudio de detalle que cubra los niveles lógicos y físicos. Igualmente se definirá, a nivel conceptual, la transición desde la arquitectura existente en una empresa de aguas hasta la arquitectura de datos propuesta.

4. *Smart Metering* y transformación digital.

El *Smart Metering* tiene muchos conceptos asociados como AMR y AMI, cuya definición y diferenciación no son sencillas. Por otra parte, la introducción del *Smart Metering* en una operadora de aguas no es más que una consecuencia natural de su proceso de transformación digital. Ese proceso lleva aparejados cambios profundos en todos los procesos de negocio.

4.1. Concepto de *Smart Metering*.

Las operadoras de aguas han gestionado tradicionalmente su facturación mediante la lectura de los consumos que registran los contadores instalados en las viviendas de sus clientes. Esta lectura se ha realizado de manera manual o semi-automática. En este último caso, los empleados de las operadoras han recogido las lecturas en unos terminales móviles que se conectan físicamente a los puertos de las interfaces de datos de los contadores modernos. Estas lecturas (y, en su caso, algunos datos asociados como la identificación del contador, su fecha de instalación, etc.) se almacenan localmente en el terminal de mano para su descarga posterior en los centros de datos de las compañías, o para su envío a través de una conexión de datos.

La necesidad de incrementar la frecuencia de las lecturas y de disponer de ellas en tiempo real con el doble objetivo de proporcionar a los clientes una información detallada y actualizada de los consumos, y de generar valor añadido, han conducido, con el tiempo, a la tele-lectura de los contadores. A medida que aumentan la calidad de las medidas, su precisión, frecuencia y sincronización, así como las operaciones que pueden realizarse sobre los mismos, la tele-lectura ha ido adoptando diferentes nombres que se agrupan dentro del concepto global de *Smart Metering*, y dentro del cual distinguimos los términos AMR y AMI.

La lectura remota de contadores (también conocida como AMR - *Automated Meter Reading*) implica la transferencia automatizada de datos de consumo de agua registrados en los contadores, normalmente a través de transmisión de radio pública (por ejemplo, GPRS, CDMA, GSM, LTE) o privada, a servidores para el almacenamiento y posterior procesamiento de datos por parte de la operadora y/o de un tercero. Por lo general,

esto implica la manipulación o el “perfeccionamiento” de medidores antiguos existentes (por ejemplo, medidores mecánicos de acumulación) mediante la adición de un dispositivo externo de comunicaciones. Si bien el AMR da como resultado una mayor puntualidad y precisión de los datos, normalmente ofrece tan sólo un pequeño aumento en la frecuencia de captación de los mismos, por ejemplo, una lectura por mes.

Cuando se incrementa la frecuencia de las medidas, se garantiza una adecuada sincronización de los datos y se permite una comunicación bidireccional con el contador, se habla de AMI (*Advanced Metering Infrastructure*). AMI crea un flujo de datos que permite la monitorización y análisis en tiempo real de un sistema de aguas. Cuando se compara con AMR, AMI proporciona, además de un mayor número de datos, una mayor granularidad y una sincronización de los mismos. La comunicación bidireccional denota la capacidad del operador de obtener lecturas a demanda, determinar si el agua ha estado fluyendo recientemente a través del medidor y hacia las instalaciones, y emitir comandos para realizar

tareas específicas, como desconectar o restringir el flujo de agua. En el sector de la energía, se dice que el AMI permite la comunicación entre todo el hardware y software, el almacenamiento y recuperación de los datos asociados y la utilización de los sistemas de analítica de datos, aunque no está claro si consideramos este mismo nivel de integración cuando hablamos de AMI en el sector del agua. También es frecuente, al hablar de AMI, integrar en la infraestructura de lectura aquellos componentes cuya información permite una gestión integral de la red de suministro, es decir, la integración de un número suficiente de medidores de presión y caudal convenientemente distribuidos en la red que permitan la construcción de un modelo hidráulico.

Para resumir, podemos decir que el AMI ofrece más control, más información y con mayor frecuencia que el AMR. No obstante, es necesario indicar que, en la práctica, no son conceptos perfectamente diferenciados, sino que hay un amplio espectro de soluciones intermedias, tanto a nivel de tecnologías como de sistemas.

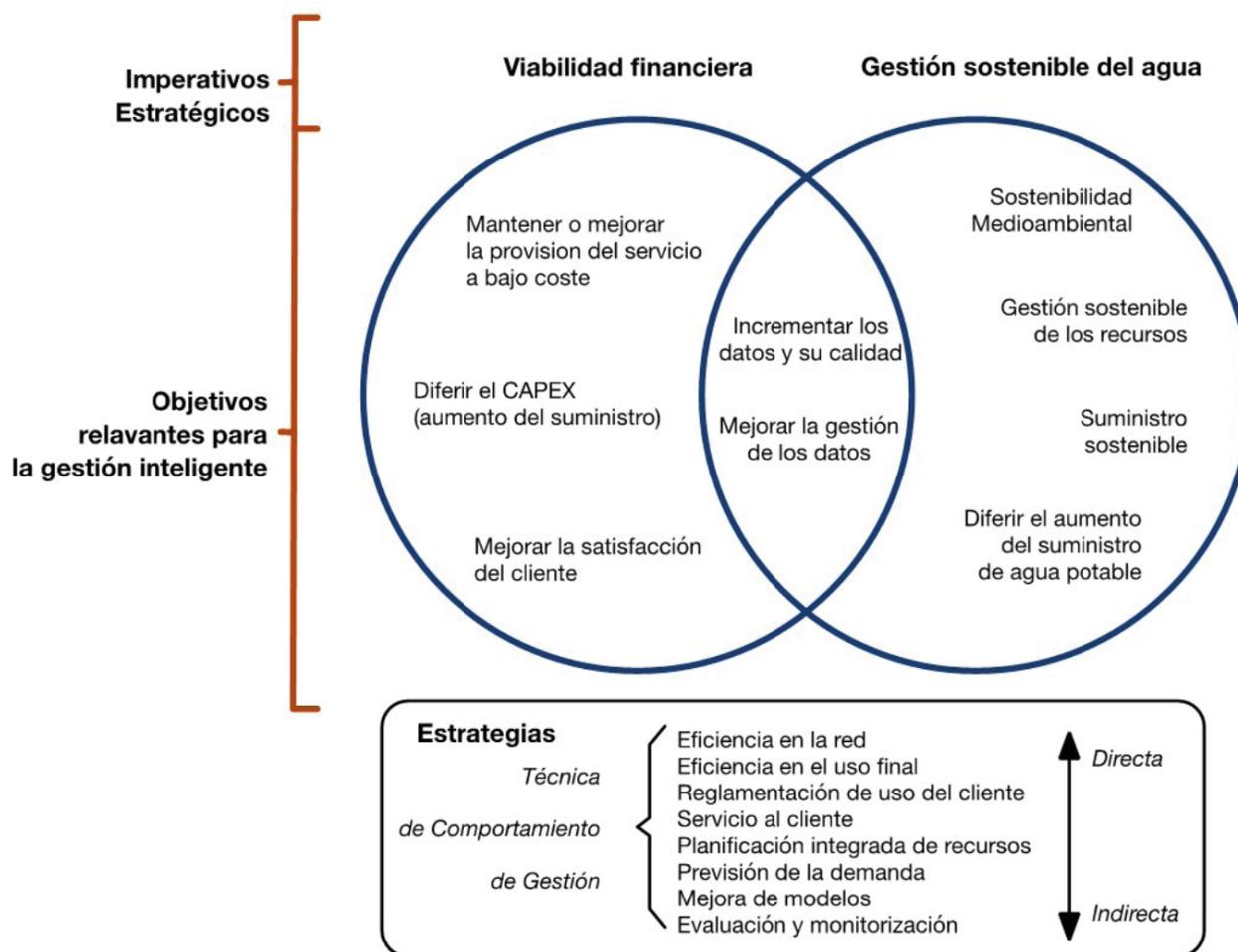


Figura 1. Motores del cambio para la transformación AMI de una operadora de agua (adaptada de [Boyl:2013]³).

³ [Boyl:2013] T.M. Boyle, D.P. Giurco, P.Mukheibir, A. Lium, C. Delaney, S.B. White, and R.A. Stewart, "Intelligent Metering for Urban Water: A Review", Water 5(3):1052-1081, September 2013, doi: 10.3390/w503105.

4.2. Motores de cambio.

Son muchos los motores de cambio que impulsan la transformación AMI de una operadora de aguas. Fundamentalmente, son motores económico-financieros, de eficiencia en la gestión de la red y de sus recursos, y de mejoras en la sostenibilidad (Figura 1).

Como ventajas principales, el AMI proporciona la seguridad del suministro a través de la gestión del lado de la demanda (sobre todo en aquellos escenarios fuertemente estacionales) y, en segundo lugar, proporciona un mecanismo para diferir las inversiones de capital mediante mecanismos de reducción de la demanda. Estos mecanismos incluyen programas de sensibilización y educación, así como la fijación de precios basados en la escasez. La mayor resolución en los datos procedentes de los contadores proporciona a la operadora información sobre cómo los clientes utilizan el agua y les permite apuntar a usos finales discrecionales específicos con el objetivo de cambiar las actitudes y comportamientos de consumo y contribuir a la conservación del agua, que es un bien escaso. Estos datos también se pueden transmitir directamente al cliente con el fin de mejorar el nivel de colaboración ciudadana e impulsar un cambio de comportamiento. Además, la mayor frecuencia de recopilación de datos, junto con una mayor resolución en la medición del flujo volumétrico, permite a las entidades identificar y reducir las pérdidas de agua dentro de la red, incluyendo las fugas de bajo nivel.

4.3. Transformación digital.

La introducción del concepto AMI en una operadora de aguas no es trivial, ya que afecta de manera trascendente al negocio de la compañía, a sus servicios, procesos y operaciones. De hecho, el AMI puede verse como un instrumento que posibilita la transformación digital.

Para comprender el papel del AMI en este proceso, recordemos que los expertos señalan que la transformación digital descansa en cuatro pilares básicos:

- **El primero** tiene que ver con la organización y la cultura corporativa. La transformación digital no trata únicamente de procesos, o de mover las infraestructuras de TI a la nube, sino que pretende crear nuevas estructuras organizativas que permitan adaptarse de manera rápida, ágil y eficiente a las demandas del mercado.
- **El segundo** pilar tiene que ver con el cliente. Las compañías necesitan tener un mayor conocimiento de sus clientes y fomentar la interacción con ellos para disponer de la capacidad de prestarles nuevos y mejores servicios.
- **El tercer** pilar está relacionado con la transformación tecnológica. La cantidad de datos que es necesario gestionar crece exponencialmente y las operadoras deben tratar esta información en tiempo real para aprovechar todo el valor que puede aportar al negocio. Además tienen que ser capaces de compartir esta información con clientes y proveedores a través de múltiples canales y aprovechar las posibilidades que ofrecen las tecnologías emergentes.
- **El cuarto** pilar tiene que ver con la eficiencia, es decir, con reducir costes y agilizar los procesos.

La Figura 2 muestra de manera gráfica y resumida los diferentes niveles de madurez digital de una empresa, según una adaptación del modelo CMMI (que cuenta con 5 niveles).

El *Smart Metering*, en sus diferentes pasos, forma parte del proceso de transformación digital y acompaña a una entidad en su maduración digital. Así, podemos decir que la introducción del AMR acompaña el primer paso de la transformación, proporcionando datos de consumo en tiempo real, y habilitando una primera digitalización de procesos y relaciones, mientras que el AMI proporciona un conjunto masivo de datos de elevada calidad que habilita el salto hacia los niveles siguientes de maduración digital.



Figura 2. Nivel de madurez digital.

4.4. Plan de tele-lectura.

La tele-lectura es mucho más que recoger datos de una manera automática. Representa una transformación profunda en todos los aspectos de la empresa (clientes, proveedores, operación, gestión, recursos, inteligencia de negocios, responsabilidad social e imagen corporativa), por lo que la decisión de implementar la tele-lectura debe tener un enfoque estratégico y alinearse con los planes de la empresa.

Una empresa de aguas debería afrontar la implantación de la tele-lectura desde un ámbito muy amplio, mediante el desarrollo de un Plan de Tele-lectura (Figura 3), en concordancia con su Plan Estratégico, así como con los siguientes contenidos:

1. **Definición de objetivos y prioridades.** En este apartado se definen los objetivos y prioridades estratégicas de la empresa referentes a la tele-lectura.
2. **Escenarios de implantación.** Aquí se describen los escenarios de implantación a corto, medio y largo plazo. En cada uno de ellos se determinan los alcances, se evalúan los recursos necesarios para conseguirlo y se plantean las formas de financiación. Para cada uno de los casos se estructuran los objetivos de acuerdo a las prioridades.
3. **Impacto interno y externo de la tele-lectura.** En este apartado se estudia el impacto que la tele-lectura tiene en los diferentes ámbitos de la empresa para cada uno de los escenarios de implantación definidos en el apartado anterior. Igualmente se estudia el impacto de la tele-lectura en el eco-sistema de la empresa: clientes, proveedores, subcontratas, relaciones institucionales, administración y ciudadanos.
4. **Diagnóstico de la situación actual.** En este apartado se examina la situación actual de la empresa en los diferentes ámbitos afectados por la tele-lectura.
5. **Estrategias de adaptación.** Conocidos los escenarios de implantación de la tele-lectura y la situación de partida, se describen en detalle las estrategias de adaptación y el estado final, priorizando los diferentes pasos, en función de los objetivos.
6. **Plan de acción.** Finalmente se describe de manera detallada el plan operativo que hace posible esa transformación, describiendo las acciones necesarias, su escala temporal y planificando los recursos necesarios.



Figura 3. Plan de tele-lectura.

5. Situación actual de las soluciones tecnológicas de tele-lectura.

El objetivo de este apartado es la identificación de las soluciones tecnológicas disponibles en el mercado y su caracterización (capacidad de proporcionar medidas, autonomía, alcance, coste de mantenimiento, obsolescencia...). Se formula el estado del arte asociado a cada tecnología con el objetivo de definir indicadores y métricas que permitan objetivar la selección de la mejor solución.

Debido a las limitaciones tecnológicas de las primeras tecnologías inalámbricas (principalmente en alcance y consumo), las primeras soluciones tecnológicas de tele-lectura se realizaron por métodos semi-automáticos como walk-by, en el que una persona o un vehículo, dotado de un nodo lector inalámbrico, recoge las medidas de los contadores que se encuentran dentro de su radio de alcance. La persona (y/o el vehículo) traslada su posición hasta cubrir el área deseada. En este estudio descartamos este tipo de soluciones y nos ceñimos a soluciones cien por cien inalámbricas de extremo a extremo.

La Figura 4 representa de manera gráfica la posición de diferentes soluciones inalámbricas en el mapa de cobertura-tasa de datos, resaltando la localización de un conjunto de tecnologías denominadas colectivamente como LPWAN (*Low Power Wide Area Networks*), cuyas características de bajo consumo, baja tasa de datos y cobertura metropolitana son especialmente adecuadas para las comunicaciones máquina-máquina (M2M) y la Internet de las Cosas (IoT).

LPWAN no es una tecnología única, sino un grupo de tecnologías con diferentes características en cuanto a su despliegue, funcionamiento y operación, y diferentes prestaciones en cuanto a tasa de datos, alcance, consumos y fiabilidad.

Se pueden usar varios criterios para clasificar este tipo de redes. Por ejemplo, se pueden clasificar:

- Por el tipo de uso de la banda de frecuencia que emplean. Así podemos distinguir entre soluciones no licenciadas, que emplean una zona libre del espectro y, soluciones licenciadas, cuyo uso requiere la adquisición de una licencia de uso en una banda de acceso restringido.
- Por la forma de operar. Así podemos distinguir entre soluciones privadas (operadas por el usuario) y soluciones operadas (es decir, que son operadas por un operador de comunicaciones).

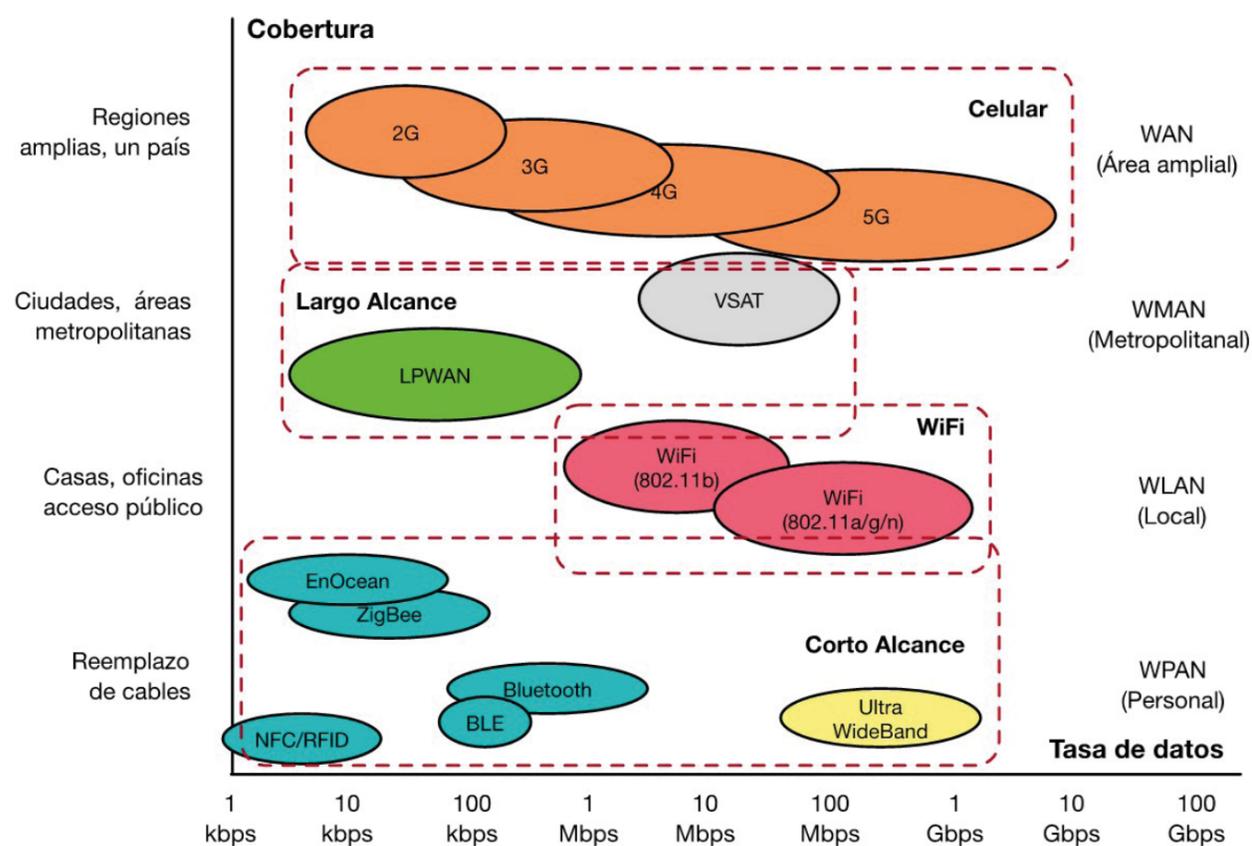


Figura 4. Representación gráfica de la posición de las tecnologías inalámbricas en el mapa cobertura-tasa de datos.

Atendiendo a esos dos criterios, las cuatro combinaciones son posibles, aunque la opción de red licenciada operada por el usuario no es actualmente empleada en Smart Metering. La Figura 5 muestra la posición de las redes LPWAN actualmente más empleadas en tele-lectura.

A continuación, se proporciona una breve descripción de las tecnologías más relevantes para *Smart Metering*.

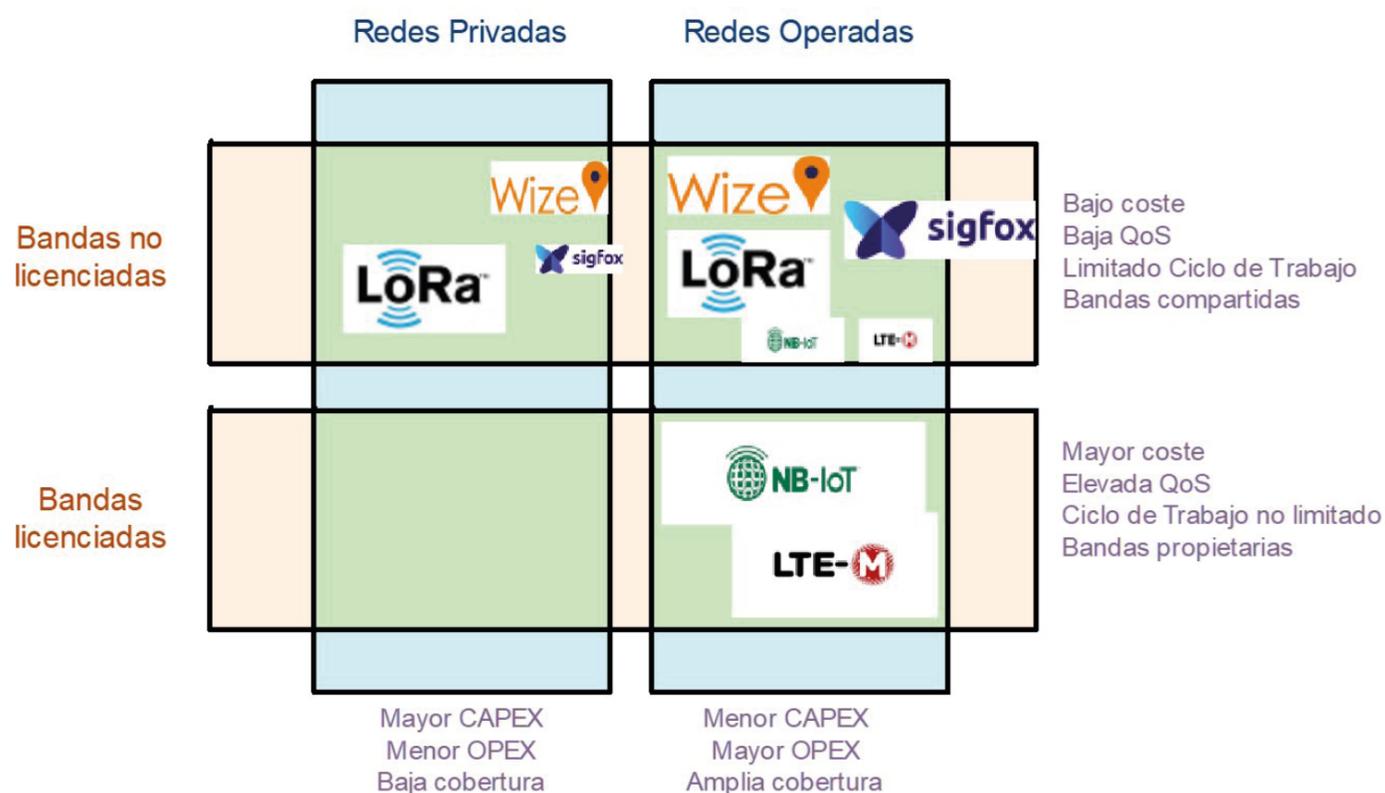


Figura 5. Clasificación de redes LPWAN de interés para *Smart Metering*, en cuanto al tipo de banda de frecuencia que emplean y a su modo de operación, y características asociadas⁴.

⁴ LoRa, LoRaWAN, LTE-M, NB-IoT, SigFox y Wize son marcas registradas.

5.1. Soluciones no-licenciadas.

Las soluciones no licenciadas trabajan en las bandas denominadas ISM, reservadas tradicionalmente para uso industrial, científico y médico (ISM: *Industrial, Scientific and Medical*). La Figura 6 muestra una comparación simplificada de las bandas ISM asignadas por la Unión Internacional de Telecomunicaciones (*International Telecommunication Union - ITU*) en Europa.

Banda (MHz)	Pros	Contras	Rango de frec. (MHz)	Frec. Central (MHz)
169	<ul style="list-style-type: none"> • Largo alcance. • Muy buena penetración en interiores. • Bajas pérdidas de transmisión. 	<ul style="list-style-type: none"> • Pocos canales. • Equipos radio caros. • Antenas grandes. • Elevado suelo de ruido. 	169.400 a 169.475	169.4375
433	<ul style="list-style-type: none"> • Largo alcance. • Buena penetración en interiores. • Bajas pérdidas de transmisión. 	<ul style="list-style-type: none"> • Saturación en algunas frecuencias. • Relativamente baja calidad. • Equipos radio caros. 	433.050 a 434.790	433.92
868	<ul style="list-style-type: none"> • Alcance medio • Bandas menos congestionadas. 	<ul style="list-style-type: none"> • Mapa de frecuencias complejo. 	863 a 870	868
2400	<ul style="list-style-type: none"> • Alta tasa de datos. • Muchos equipos de radio, baratos y versátiles. 	<ul style="list-style-type: none"> • Alcance bajo sin uso de repetidores. • Altas pérdidas de transmisión. • Mala penetración en interiores. 	2400 a 2425	2412.5

Figura 6. Comparación simplificada de bandas ISM asignadas por la *International Telecommunication Union (ITU)* en Europa.

Aunque existen tecnologías propietarias en dichas bandas (EnOcean, ZWave, etc.), las más empleadas se basan en el estándar IEEE 802.15.4 (con diferentes protocolos en las capas superiores, como ZigBee) o protocolos parecidos como LoRaWAN.

Estos protocolos definen normalmente las capas más bajas de la torre de protocolos OSI, es decir, las capas Física (PHY) y de control de Acceso al Medio (MAC). Estas capas son simples, para favorecer su implementación en dispositivos terminales de bajo coste, y se encuentran optimizadas para disminuir la ocupación del espectro, a fin de satisfacer las estrictas regulaciones de cada país.

Esta elevada simplicidad en los protocolos da lugar a que sus tramas sean, en muchos casos, incompatibles con una red IP. Aunque hay algunos protocolos de compresión de tramas como 6LowPAN o SCHC, en la mayor parte de los casos estas redes se integran en la IP a través de un *Gateway*, lo que debe tenerse en cuenta para aspectos tales como interoperabilidad y seguridad. Se descartan en este estudio otras soluciones como WirelessHart e ISA 100, con vocación industrial, en donde conceptos como fiabilidad y latencia son de gran importancia, a costa de un aumento en la complejidad de los protocolos y en el precio de los dispositivos.

5.1.1. Wize.

El protocolo Wize está basado en Wireless M-Bus a 169 MHz (de la familia EN13757 de estándares de *Metering* promovidas por la Comisión Europea de Estandarización - CEN). La tecnología se utilizó y desarrolló por primera vez para la medición de gas y agua en Francia. En la actualidad, esta tecnología está disponible para un mercado más amplio. Entre las características más significativas del protocolo Wize encontramos:

- Frecuencias de trabajo en la banda VHF (lo que implica buena penetración en interiores).
- Bajo consumo (por minimización de tráfico).
- Uso de una solución basada en el estándar *Wireless M-Bus*.
- Descarga de *firmware* por aire (*Over-The-Air Update, u OTA-U*) como parte integral del protocolo.

La *Wize Alliance* fue fundada en 2017 en Francia por GRDF, Sagemcom y Suez para asegurar la durabilidad y sostenibilidad de la tecnología, con el objetivo de exportarla a otros países (aparte de Francia) y de entrar en nuevos mercados (aparte del de *Smart Metering*), en particular para aplicaciones de ciudades inteligentes. En la actualidad, pese a no tener limitaciones de propiedad en la tecnología o en su implementación (a diferencia de SigFox y LoRaWAN), y a contar con un número suficientemente elevado de terminales desplegados en el mundo, Wize no ha logrado traspasar el marco inicial de las grandes empresas francesas que la crearon, por lo que, a día de hoy, seleccionar esta tecnología en el mercado del agua supone, en la práctica, limitarse casi a un único proveedor. Wize necesita desplegar una infraestructura. Aunque se ofrece la posibilidad de una operación privada, la tecnología está más orientada a su gestión por un operador, que es donde encuentran su negocio las compañías proponentes de Wize.

Capa física Wize.

El protocolo Wize se basa en la norma EN13757-4 Wireless M-Bus modo N, operando a 169 MHz. Los parámetros de radio básicos que se utilizan son:

- Tasa de datos de 2.4, 4.8 y 6.4 kbps.
- 6 canales de 12,5 kHz (normalmente 5 de subida y uno de bajada).
- Potencia de transmisión máxima: 500 mW.

Wize utiliza un sistema de ajuste automático de la sincronización en tiempo y frecuencia, que le permite mejorar la calidad del enlace respecto de otros estándares.

Capas MAC y de enlace Wize.

Wize se desvía del estándar *Wireless M-Bus* en el uso del campo C, el direccionamiento de la capa de enlace y un nuevo formato de trama en la capa de enlace de datos que se utiliza para el OTA-U.

El campo C se ha modificado para señalar adicionalmente mensajes de “prioridad”, que se utilizan en situaciones de alarma. Con respecto a la dirección de la capa de enlace, Wize usa siempre la dirección del dispositivo, tal como se hacía en la norma EN13757-4 original de 2005, pero que se cambió posteriormente en la actualización de la norma de 2013.

La comunicación bidireccional se realiza mediante una breve ventana de escucha de 5 segundos (independientemente de la tasa de datos) que se abre después de la transmisión, de esta forma se consigue un ahorro en el consumo de la batería.

En Wize, cuando se despiertan los dispositivos envían la misma trama a diferentes estaciones base, usando métodos estadísticos para asegurar, con elevada probabilidad, la recepción de la misma por, al menos, una de ellas.

5.1.2. LoRaWAN.

Capa de transporte y aplicación Wize.

El protocolo Wize utiliza un campo de información de control único (CI = 0x20) para identificar las nuevas capas de transporte y aplicación.

La capa de transporte (aunque sería más adecuado llamarla de presentación) proporciona los servicios de seguridad, privacidad, integridad, autenticación y protección contra los ataques por replicación. La seguridad se basa en AES-128. Además, cada mensaje utiliza un contador de mensajes único y una marca de tiempo basada en un segundo contador EPOCH.

La capa de aplicación soporta los servicios de:

- Instalación del dispositivo mediante un mecanismo de ping/pong entre el dispositivo y las estaciones base disponibles.
- Configuración y administración de dispositivos mediante tramas de comando / respuesta.
- Descarga de *firmware* por difusión a dispositivos que se han sincronizado en el tiempo.
- Recolección de datos utilizando tramas dedicadas para diferentes perfiles (como gas y agua).

Una de las características significativas de Wize es la de utilizar un protocolo OTA-U nativo. En un primer paso, todos los dispositivos que están destinados a la actualización de *firmware* reciben una notificación individual sobre la hora en la que comenzará la transmisión de difusión. Todos los dispositivos sincronizados pueden escuchar y almacenar los mismos mensajes de descarga. Estos mensajes se repiten varias veces para asegurar que los nodos que han perdido alguna información pueden recuperarla. Gracias a este sistema se consigue actualizar una gran cantidad de dispositivos en poco tiempo, a pesar del estrecho ancho de banda disponible. La descarga tiene lugar, además, en el “período de apagón”, normalmente 4 horas durante la noche, donde no se permite que los dispositivos Wize transmitan para no interferir con la descarga.

LoRaWAN es una tecnología inalámbrica LPWAN, cuyo protocolo ha sido desarrollado por una asociación de fabricantes (LoRa Alliance). Se caracteriza por su largo alcance, bajo consumo y relativamente baja tasa de datos. Utiliza la banda ISM sin licencia. Dado que los terminales tienen gran alcance (unos pocos kilómetros en entorno urbano), no necesita repetidores.

Capa física LoRaWAN.

Para disminuir la potencia por Hz y aumentar el alcance, LoRaWAN utiliza modulación Chirp-Spread Spectrum (CSS), que es un tipo de modulación de espectro ensanchado de secuencia directa (DSSS). La tasa de datos LoRaWAN (R_b) medida en bits por segundo se define mediante la ecuación de la Figura 7.

$$R_b = SF * \frac{BW}{2^{SF}}$$

Figura 7. BW es el ancho de banda de modulación (Hz) y SF es el factor de difusión (Spreading Factor).

Una de las características de LoRaWAN es que su sistema de modulación es propiedad de la empresa Semtech Corporation la cual, de hecho, es la única fabricante de *chipsets* con licencia LoRa. La dependencia de la tecnología respecto de un único fabricante (aun cuando existen acuerdos con terceros) es un inconveniente, dado que puede comprometer su sostenibilidad futura.

Capa MAC LoRaWAN.

La capa MAC en LoRaWAN define tres tipos de clases de comunicación (denominadas clases A, B y C), las cuales tienen diferentes latencias y se utilizan para diferentes aplicaciones y escenarios.

5.1.3. SigFox.

1. **Clase A (dispositivos terminales bidireccionales):** es el tipo básico LoRaWAN que se implementa en todos los chips LoRa. Los nodos compiten por el canal con un mecanismo tipo ALOHA (con colisiones). Los nodos terminales permiten la comunicación bidireccional, en donde la transmisión de enlace ascendente de cada dispositivo final es seguida por dos breves ventanas para recibir mensajes de enlace descendente. Para aplicaciones de *Metering*, la clase A es la mejor candidata.
2. **Clase B (dispositivos terminales bidireccionales con ranuras de recepción programadas):** en esta clase, los nodos, además de las ventanas de recepción competitivas de clase A, abren una ventana de recepción adicional en un período específico. El nodo central envía tramas de baliza para la sincronización de los nodos en clase B. Los nodos de esta clase pueden recibir señales de datos sin enviar solicitudes, por lo que esta clase es adecuada para fines de supervisión y gestión de la red.
3. **Clase C (dispositivos terminales bidireccionales con ranuras de recepción máximas):** los nodos terminales abren continuamente ventanas de recepción que se cierran sólo durante la transmisión. Dado que los nodos de esta clase tienen encendida la radio casi todo el tiempo, gastan mucha energía. A cambio tienen una latencia muy baja. Esta clase está pensada para aplicaciones IoT que requieren alertas y notificaciones en tiempo real, no siendo adecuada para *Metering*.

SigFox es una tecnología pública para la implementación de la IoT, propiedad de una empresa francesa, que es también, en la mayor parte de los casos, propietaria de la infraestructura allí donde la misma está desplegada. Se pensó con la idea de ser la red IoT global más grande del mundo, capaz de conectar una gran cantidad de objetos que transmiten pocos datos. Se caracteriza por carecer de protocolo de señalización y por ofrecer un protocolo robusto y optimizado, donde los nodos no necesitan conectarse para usar la red.

El uso de la red es asimétrico: en principio los nodos terminales sólo transmiten y no tienen capacidad de recepción. Por ello son sencillos, baratos y de bajo consumo, aunque también son bajas, tanto la tasa de datos en transmisión, como la frecuencia con que se realizan las mismas. Toda la complejidad del protocolo se encuentra en el receptor, que es el nodo central o estación base. Éste incorpora un software complejo que le permite alcanzar una sensibilidad elevada, de manera que puede recibir datos de los nodos terminales, aun cuando éstos se encuentren a larga distancia y transmitan con baja potencia.

Aunque éste es el modo básico, SigFox incorpora también un canal descendente, aunque con muchas limitaciones (muy baja tasa de datos y una frecuencia de transmisiones descendentes muy baja). Otra característica de SigFox es que, para que la red funcione, la infraestructura debe estar desplegada y operativa (es decir, las estaciones base receptoras tienen que estar instaladas y debidamente operadas), lo que depende de la empresa propietaria de la tecnología e impide su empleo en aquellos escenarios en los que la misma no ha efectuado aún el despliegue.

Capa física de SigFox.

SigFox utiliza el esquema de modulación DBPSK de Banda Ultra Estrecha (UNB). Cada nodo transmite con muy bajo ancho de banda (100 Hz), por lo que la tasa de datos es tan sólo de 100 bps. En SigFox, el nodo terminal inicia la transmisión enviando tres tramas de enlace ascendente en secuencia en tres canales aleatorios. La estación base recibe correctamente las tramas incluso si uno o dos de los intentos de transmisión se pierden por cualquier causa, por las condiciones del canal, a consecuencia de una colisión con otros nodos, o por la interferencia de otras estaciones que pertenecen a otros sistemas que usan la misma frecuencia. Hemos de hacer notar aquí que las limitaciones del ciclo de trabajo de la banda utilizada en la banda ISM de 868 MHz asignada en la UE es inferior al 1%. Aunque SigFox permite enlaces bidireccionales, la capacidad de transmisión descendente es limitada y consume mucha energía en el nodo terminal.

Capa MAC SigFox.

La capa MAC de SigFox se basa en la técnica de Acceso Múltiple por División de Tiempo y Frecuencia Aleatoria (RFTDMA). Es un método de acceso competitivo. Si el nodo necesita transmitir, accede al medio inalámbrico en tiempo y frecuencia aleatorios esperando que el canal no esté ocupado. Para mejorar la fiabilidad, el nodo puede enviar hasta 3 copias de cada trama, cada copia en una frecuencia diferente. Las frecuencias portadoras en el nodo emisor se determinan durante la duración de la transmisión, en lugar de predeterminarse para conjuntos de transmisión discretos, lo que reduce la posibilidad de interceptar las comunicaciones. Para asegurar una fuerte protección contra la atenuación y la variedad de canales, y disminuir la potencia por Hz, se utiliza una técnica de espectro ensanchado denominada de salto de

frecuencia portadora (FHSS). Por este motivo, el nodo receptor debe escuchar todo el espectro que contiene la señal transmitida de todos los nodos y decodificar todas las señales recibidas para determinar el mensaje transmitido por cada una, de acuerdo con el campo de identificación del dispositivo. El principal efecto de esta técnica de acceso aleatorio es la reducción de interferencia entre las señales transmitidas, a la vez que reduce el consumo de energía en los nodos, pero aún así no puede evitar que se produzcan colisiones entre los nodos activos debido a que la asignación de frecuencia es aleatoria. El número máximo de tramas que se pueden transmitir desde cualquier nodo activo, según la tecnología SigFox, es de aproximadamente 140 tramas por día, y la carga útil real de cada trama es de tan sólo 12 bytes. En aplicaciones reales, la estación base de SigFox puede gestionar un máximo teórico de un millón de nodos ubicados en una distancia de cobertura (en comunicación ascendente) de hasta 100 km.

5.2. Soluciones licenciadas.

Aun cuando es todavía posible el uso de GPRS o GSM para IoT en bandas licenciadas, en la práctica se desaconseja su uso por cuestiones de obsolescencia tecnológica, por lo que nos limitaremos a considerar aquí las tecnologías que propone el Proyecto de Asociación de Tercera Generación (*3rd Generation Partnership Project - 3GPP*) para la IoT: NB-IoT y LTE-M.

5.2.1. SIM y eSIM.

Un apartado importante a tener en cuenta cuando se usan soluciones licenciadas es la necesidad de una SIM. La solución de una SIM convencional tiene importantes inconvenientes que introducen una dependencia tecnológica.

1. En el caso de usar terminales de comunicación independientes no integrados en el contador, se crea una dependencia tecnológica con el operador de comunicaciones, dado que el cambio de operador supone un cambio de la SIM y exige, por tanto, un acceso físico a los terminales de comunicación.
2. En el caso de usar terminales de comunicación integrados en el contador la situación es aún más compleja, ya que la SIM no es normalmente accesible. En este caso son los propios fabricantes de los contadores los que proporcionan la conectividad (mediante acuerdos que ellos mantienen con los operadores de telecomunicación), por lo que se tiene una servidumbre con el fabricante de contadores.

En ambos casos, dado el largo plazo de sustitución de contadores (12 años) y el estimado para los terminales de comunicación (que podría ser de 12 años o más), sería necesario establecer contratos de largo plazo con el operador o el fabricante, con los riesgos que ello conlleva.

Afortunadamente, y para aliviar este problema, ha

surgido recientemente la eSIM (embedded SIM), también conocida como tarjeta SIM virtual, electrónica o remota, que es un chip 90 por ciento más pequeño que una nano SIM y que viene instalado de fábrica en smartphones, portátiles, tablets, relojes inteligentes, terminales de sensores y cualquier dispositivo que pueda conectarse a la red de un operador de comunicaciones.

La eSIM permite conectar dichos dispositivos a una red operada sin tarjeta física, lo que supone un cambio significativo en la relación con los operadores. Muchos proveedores de módulos de comunicación (NB-IoT y LTE-M) están preparados para eSIM, y en España la mayor parte de los operadores de telecomunicación (Movistar, Vodafone, Orange, O2, Yoigo y Pepephone, como mínimo) ya soportan la eSIM.

No obstante, debido a la variedad de factores que afectan al cambio de operador a través de eSIM sería necesario hacer pruebas de cambio de conectividad para los módulos seleccionados con un conjunto pre-seleccionado de operadores de telecomunicación, a fin de garantizar que no habrá problemas en un futuro.

En estas pruebas sería necesario comprobar que:

1. El terminal inalámbrico seleccionado soporta eUICC.
2. La tarjeta SIM seleccionada soporta eUICC.
3. La entidad proporciona el RSP (*Remote SIM Provisioning Platform*) para cambiar los perfiles de conectividad.
4. Hay un servicio de conmutación de conectividad disponible entre los operadores seleccionados.

Terminadas esas comprobaciones sería necesario, finalmente, hacer pruebas reales de cambio de conexión a una escala suficiente para: 1) comprobar que se produce el cambio; 2) medir el tiempo que se tarda en realizarlo; 3) medir el consumo de los terminales; y 4) verificar qué otros servicios se necesitan del operador o de un tercero.

5.2.2. NB-IoT.

A diferencia de LoRa o SigFioX, que utilizan una banda de espectro sin licencia, la tecnología NB-IoT utiliza las mismas bandas de frecuencia con licencia que se utilizan en *Long-Term Evolution* (LTE). Si bien esto garantiza que no hay conflictos en el uso del canal, tiene el inconveniente de requerir una constante sincronización de los nodos terminales, lo que eleva el consumo. También los protocolos son más complejos: Multiplexación por División de Frecuencia Ortogonal (OFDM) o Acceso Múltiple por División de Frecuencia (FDMA). También necesitan más corriente media y de pico que en las soluciones no licenciadas vistas anteriormente. Como ventajas, las redes NB-IoT tienen baja latencia y alta velocidad de datos.

Modulación de la capa física NB-IoT.

NB-IoT utiliza las mismas técnicas de capa física que se emplean en LTE, en particular el acceso múltiple por división en frecuencia de portadora única (SC-FDMA) en el enlace ascendente. Cada portadora se divide en 12 subportadoras, cada una de ellas de 15 kHz. Se utilizan dos modos para la transmisión en NB-IoT, el primero es el modo de transmisión multitono que se basa en SC-FDMA y utiliza la misma subportadora de 15 kHz que en LTE. El segundo es el modo de transmisión de tono único que habilita dos valores de subportadora; 15 kHz y 3,75 kHz. El modo de tono único de 15 kHz es similar a LTE, mientras que el modo de tono único de 3,75 kHz utiliza un intervalo de tiempo con un período de 2 ms. La Figura 8 muestra las especificaciones de los diferentes modos de NB-IoT.

Subportadora (kHz)	Número de tonos	Número de símbolos SC-FDMA	Latencia (ms)
15	12	14	1
15	6	28	2
15	3	56	4
15	1	112	8
3,75	1	112	32

Figura 8. Especificación de modos de NB-IoT (extraídos del estándar).

Pila de protocolos NB-IoT.

La pila de protocolos de NB-IoT que se muestra en la Figura 9 (siguiente página) es una versión reducida de la pila de protocolos LTE, para evitar la sobrecarga que supone la gestión de un protocolo LTE completo. Dos planos están contenidos en la pila de protocolos NB-IoT. En el plano de usuario, la pila de protocolos tiene cuatro capas principales: capa PHY, capa MAC, control de enlace radio (RLC) y protocolo de convergencia de datos en paquetes (PDCP). En el plano de control, se agregan dos capas más: el control de recursos radio (RRC) y la capa de estrato sin acceso (NAS). La capa PDCP en los planos de usuario y control es responsable del descifrado, numeración de secuencia de tramas e identificación de duplicidad de tramas, a la vez que realiza la descompresión de encabezados y la verificación de integridad. La capa NAS de la pila de protocolos es responsable de transferir la señal de control entre la red central y el equipo de usuario, que le permite llevar a cabo muchas funciones como autenticación, gestión de seguridad y control de movilidad. Finalmente, la capa RRC es responsable de reducir la señalización en el plano de usuario. Cuando se compara con soluciones no licenciadas como LoRa o SigFox, NB-IoT tiene un protocolo más complejo, pero proporciona todos los servicios de identificación, cifrado, seguridad y movilidad, típicos de una red licenciada.

En lo relativo a las capas superiores del protocolo, en la actualidad, NB-IoT permite conexiones IP (a través de EPC, *Extended Packet Code*) y no-IP (de forma natural). No obstante, la conectividad IP en el dispositivo se consigue a costa de una pila de protocolo más compleja, que tiene un impacto negativo en el consumo.

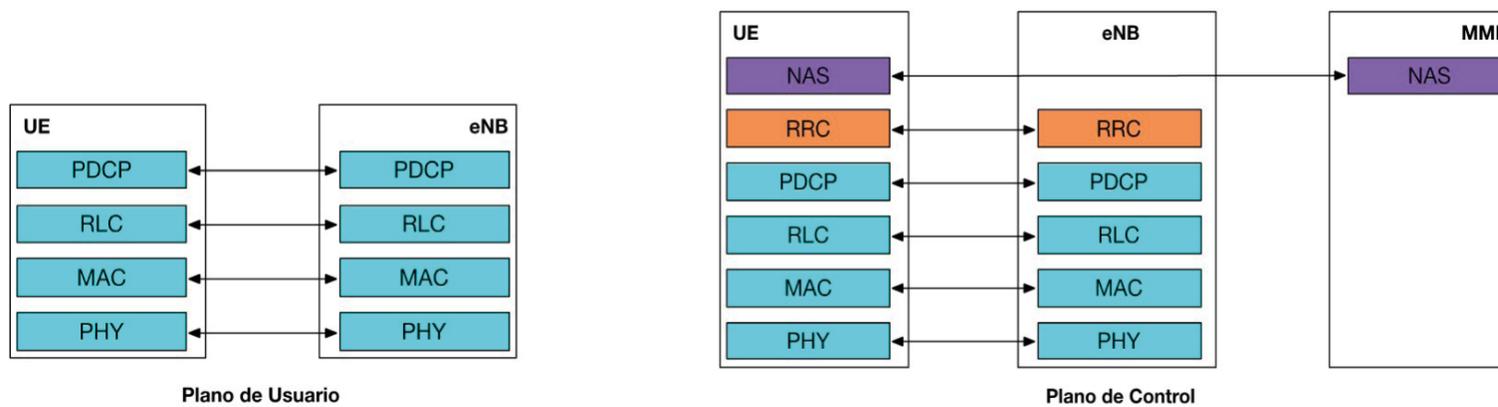


Figura 9. Protocolos de NB-IoT (a partir del estándar. UE: User Equipment, eNB: eNodeB, MME: Mobility Management Entity).

5.2.3. LTE-M.

LTE-M (o NB LTE-M) son las siglas de *Long Term Evolution for Machines*. Es una tecnología que se propuso para integrar comunicaciones máquina-máquina (M2M) de banda estrecha en la red LTE ya existente. LTE-M es un modelo de comunicación que permite a los nodos comunicarse directamente entre sí, y que posibilita que los nodos terminales que lo implementan tengan, respecto de un terminal LTE convencional, menor coste, mayor cobertura y mayor duración de la batería, a la vez que facilita una gran cantidad de nodos por celda, a costa de un reducido ancho de banda.

Capa física LTE-M.

Gracias al reducido ancho de banda, LTE-M hace un uso muy eficiente del espectro y puede compartir el espectro con los sistemas LTE de banda ancha actuales. Una importante ventaja de LTE-M es que funciona en una infraestructura LTE ya implementada, de manera que las estaciones base LTE actuales tan sólo deben actualizar su software para admitir especificaciones LTE-M.

Capa MAC LTE-M.

LTE-M tiene una funcionalidad en la capa MAC similar a la que tiene LTE, lo que permite un uso compartido eficiente del espectro entre los dos sistemas, sin interferencias. En el enlace ascendente, ambos pueden multiplexarse utilizando Multiplexación por división de frecuencia (FDM), mientras que en el enlace descendente, LTE utiliza Multiplexación por división de tiempo (TDM). Este tipo de uso compartido de bloques de recursos físicos entre LTE y LTE-M no solo da como resultado un uso más eficiente del espectro, sino que también permite un aumento de la capacidad de LTE-M, dado que para agregar más dispositivos a la red, se multiplexan más canales de LTE.

Las principales ventajas de LTE-M son la velocidad y la baja latencia. Así, LTE-M puede proporcionar una velocidad de 384 Kbps en enlace descendente y hasta 1 Mbps en enlace ascendente. La latencia de LTE-M está entre los 50 y 100 ms.

En cuanto a las capas superiores de protocolos, LTE-M permite conexiones IP.

5.3. Comparación de soluciones técnicas.

Cada una de las tecnologías que hemos revisado tiene sus puntos fuertes y débiles, y encuentra aplicación en diferentes escenarios:

- La tecnología LoRaWAN probablemente será la mejor candidata para comunicaciones de datos en ráfaga (moderada velocidad de datos), una gran cantidad de nodos por celda y bajo consumo de energía.
- NB-IoT resulta adecuada para redes que necesitan una alta velocidad de datos en conexión, sin tener limitaciones estrictas en el consumo de energía o cuando se precise acceder a nodos aislados y remotos (siempre que haya conexión por un operador, claro está).
- SigFox es la mejor solución cuando: a) tan sólo se precisa una frecuencia de transmisión y una velocidad de datos muy bajas; b) las comunicaciones son, fundamentalmente, ascendentes y; c) el consumo es un factor clave.
- Wize es una buena tecnología para *Smart Metering*, con buena penetración de interiores, pero con unas tasas de datos inferiores a las de LoRaWAN.
- Finalmente, LTE-M será el mejor candidato cuando se requiere alta velocidad y baja latencia, una conexión IP y el consumo de los terminales no es un aspecto determinante, ya que la duración de la batería de un dispositivo LTE-M es menor que en el resto de las tecnologías estudiadas.

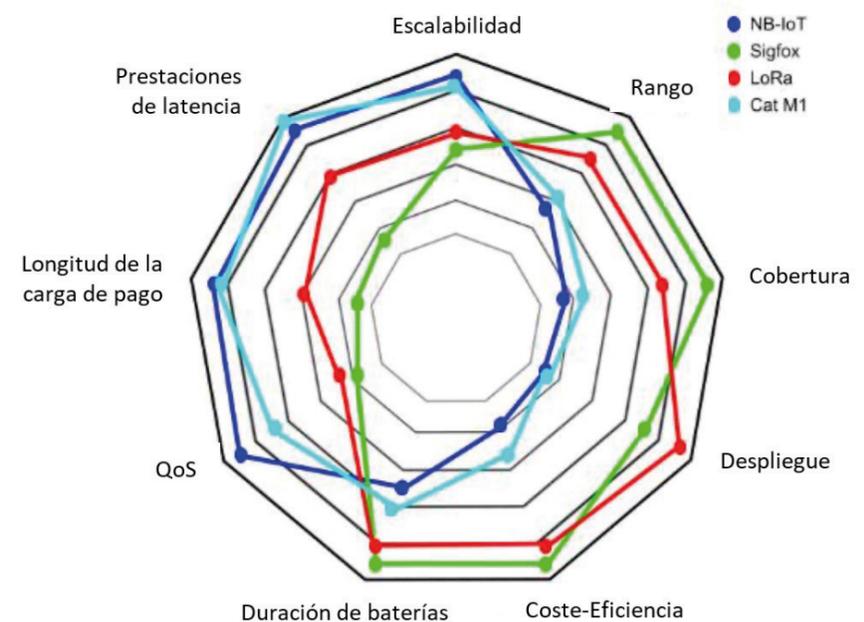


Figura 10. Adecuación de las tecnologías inalámbricas consideradas a la IoT [Hern:2018]⁵ (nótese que la tabla original no incluye la tecnología Wize).

⁵ [Hern:2018] M. Hernández, "Connectivity now and beyond: exploring Cat-M1, NB-IoT, and LPWAN connections," [En línea]. Disponible: <https://ubidots.com/blog/exploring-cat-m1-nb-iot-lpwan-connections>

		Wize	LoRaWAN	SigFox	NB-IoT	LTE-M
Estándar		Wize on top of ENI3757-x	LoRaWAN	SigFox	3GPP	3GPP
Espectro (MHz)		No-licenciado 169	No-licenciado 868 (en la UE)	No-licenciado 868 (en la UE)	Licenciadas LTE	Licenciadas LTE
Potencia TX (dBm)		27	13 en la UE	14 en la UE	23	23
Link Bud. (dB)	ascend:	147 a 153	154	159	151	146
	descen:	146				
Modulación	ascend:	GFSK /4FSK	CSS	DBPSK	GFSK	SC-FDMA,
	descen:			GFSK	BPSK	OFDMA
Ancho de banda de canal (kHz)		12.5	125-500	0,1	180	1400-5000
Bidireccional		Sí / Half Duplex	Sí / Half Duplex	Limitada /Half Duplex	Sí / Half Duplex	Sí / Half Duplex
Máx. mensajes/día		Sin límites	Sin límites	ascen: 140, descen: 4	Sin límites	Sin límites
Máxima carga de pago (bytes)		256	243	ascend: 12 descen: 8	1600	1000
Consumo de potencia		Bajo	Bajo	Muy Bajo	Medio bajo (> LoRa)	Medio (> NB-IoT)
Tiempo vida batería 200 mAH, 3.3 V		150 meses	105 meses	150 meses	90 meses	18 meses
Topología red		Estrella de estrellas	Estrella de estrellas	Estrella	Estrella	Estrella
Seguridad		AES 128	AES CCM 120	Elevada (por tecnología)	NSA/AES 256	AES 256
Cobertura (km)	urbano	aprox. 5	aprox. 5	aprox. 10	aprox. 1	aprox. 5
	rural	aprox. 40	aprox. 20	aprox. 40	aprox. 10	
Máx. tasa (bps)	ascend:	aprox. 6.4k	aprox. 50k	aprox. 100	aprox. 220k	< 1M (CAT1) < 2.5M (CAT2)
	descen:		aprox. 290	aprox. 600		
Uso espectro		Repetición y sincronización	FHSS (ALOHA)	Ultra Narrow Band (UNB)	FDD	FDD/TDD
Movilidad: los terminales se unen a		varias estaciones	varias estaciones	varias estaciones	una única estación	Movilidad. LTE convencional
Permite red privada		Sí	Sí	No	No	No
Latencia		Depende uso. Puede ser alta (minutos).	Depende uso. Puede ser alta (minutos)	ascen: 1 ms descen: muy alta (horas)	1.5 - 10 s	50 - 100 ms
Coste módulo RF		Bajo (algunos euros)	Bajo (algunos euros)	Muy bajo (pocos euros)	5-10 euros	10-15 euros

Figura 11. Principales especificaciones técnicas y características de las tecnologías LPWAN.

La Figura 11 muestra, de manera muy simplificada, las principales especificaciones técnicas y características de estas cuatro tecnologías, permitiendo una rápida comparación entre las mismas. Algunos valores que aparecen en la figura (como la duración de las baterías) deben ser considerados como una primera estimación para un caso típico de IoT, pero son muy dependientes de la aplicación y

del uso que se realice de la tecnología. El gráfico de la Figura 10 muestra un resumen comparativo de estas tecnologías en cuanto a su adaptación a la IoT en general. Este gráfico nuevamente es meramente indicativo y se ha generado con el único propósito de dar una comparativa general. En el próximo apartado estudiaremos la adecuación al caso específico de *Smart Metering* en una operadora de aguas.

5.4. Adecuación de las LPWAN al *Smart Metering* de una operadora de aguas.

5.4.1. Adecuación general de las tecnologías LPWAN.

Empezaremos por estudiar factores generales de adecuación de las tecnologías LPWAN estudiadas, independientemente del escenario de uso. La Figura 12 resume una comparativa que tiene en cuenta aspectos como bandas de trabajo, tipo de operación y gestión, riesgo tecnológico, integración IP, integración 5G, etc.

	Wize	LoRaWAN	SigFox	NB-IoT	LTE-M
Tipo de banda	No-licenciada	No-licenciada	No-licenciada	Licenciada	Licenciada
Operación y gestión	Propia (o tercero)	Propia (o tercero)	SigFox	Operador de telecomunicación	Operador de telecomunicación
Riesgo tecnológico	Medio-Alto (pocos fabric. y desplieg.)	Medio (chipset de Semtech)	Medio - Alto (tecnología de SigFox)	Muy bajo (estándar 3GPP)	Muy bajo (estándar 3GPP)
Coste Instalación	Medio-alto (infraestr. propia)	Medio (infraestr. propia)	Bajo (Infraestr. existente)	Bajo (Infraestr. existente)	Bajo (Infraestr.existente)
Coste terminal RF	Bajo (10 €)	Bajo (10 €)	Muy Bajo (5 €)	Medio-Bajo (15 €)	Medio (20 €)
Coste de tramas	0 euros	0 euros	Muy bajo	Muy bajo	Bajo
Integración en 5G	Por gateway propio	Por gateway propio	A través de SigFox	Garantizada por 3GPP	Garantizada por 3GPP
Terminales IP	No	No	No	Sí A través de ECP	Sí
OTA-U	Sí (eficiente)	Sí (no eficiente)	No	Sí (no eficiente)	Sí
Seguridad	Suficiente-Baja. Sólo AES-128	Suficiente-Baja. Sólo AES-128	Buena Usa tecnología de transmisión segura	Muy Buena (encriptación LTE y seguridad de operador)	Muy Buena (encriptación LTE y seguridad de operador)

Figura 12. Comparativa de la adecuación de las tecnologías LPWAN a una operadora de agua: aspectos.

5.4.2. Escenarios para una operadora de aguas.

Utilizaremos tres escenarios típicos para el *Smart Metering* en una operadora de agua, que denominaremos: AMR, AMI actual y AMI futuro, y que describiremos a continuación:

- **Escenario AMR.** El objetivo de este escenario es la sustitución del sistema manual de lectura por una lectura remoto. En este escenario nos conformamos con una lectura mensual (aunque sería preferible una lectura al día). Cada contador transmite el valor de su lectura y poco más. No se contempla la necesidad de actuar sobre el contador, ni siquiera la posibilidad de una actualización remota (OTA-U) de su *firmware*.
- **Escenario AMI (actual).** En este escenario, el objetivo es tener un número suficiente de lecturas diarias que permitan realizar tareas simples de analítica de datos, tales como detección de fugas, previsión de demanda y perfilado de clientes. Esto obliga a realizar varias medidas sincronizadas al día. También precisa comunicación bidireccional para pedir al terminal que haga medidas a mayor frecuencia en ciertas franjas horarias y para realizar actualizaciones remotas.

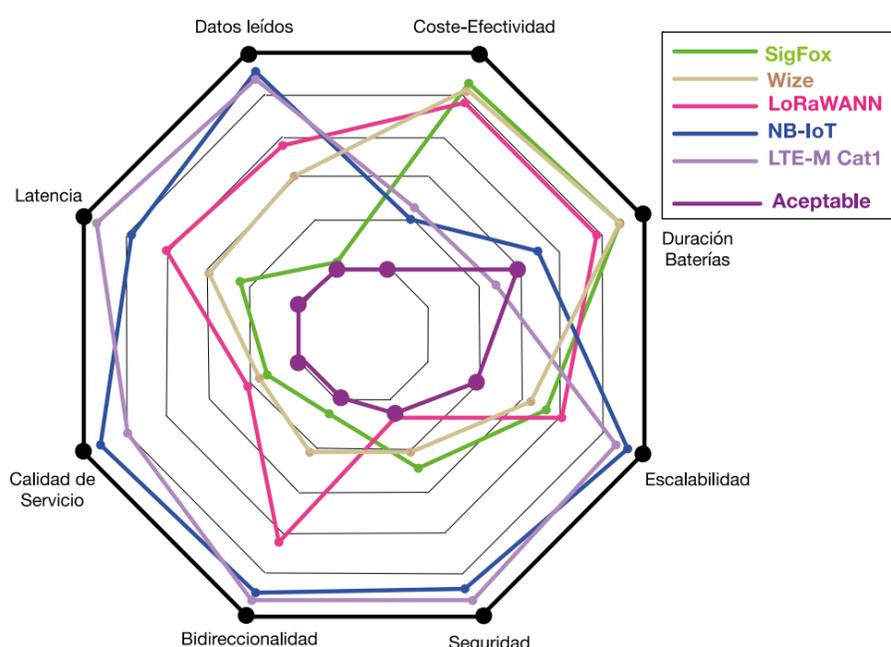


Figura 13. Comparativa de tecnologías por su adecuación a las necesidades de una operadora de aguas, escenario 1: AMR.

- **Escenario AMI (futuro).** En este escenario, el objetivo es posibilitar el desarrollo de una operadora madura digitalmente, en donde se integra al cliente en la gestión del negocio y se posibilita el desarrollo completo de las técnicas de analítica de datos. La tele-lectura se integra en el resto del negocio, participando del desarrollo de los sistemas TICs. Esto obliga a una lectura muy frecuente de los contadores, a su integración IP y a una comunicación bidireccional frecuente y segura con inmediata adopción de los cambios tecnológicos propios de la IoT.

5.4.3. Adecuación de las tecnologías LPWAN en función del escenario.

La adecuación de cada una de las tecnologías a los tres escenarios propuestos se muestra en las figuras 13, 14 y 15, respectivamente. Es necesario indicar que el análisis de adecuación que se realiza a continuación, aunque basada en datos técnicos, es un análisis cualitativo que refleja tan sólo la opinión personal del autor y puede no ser compartido por otros autores.

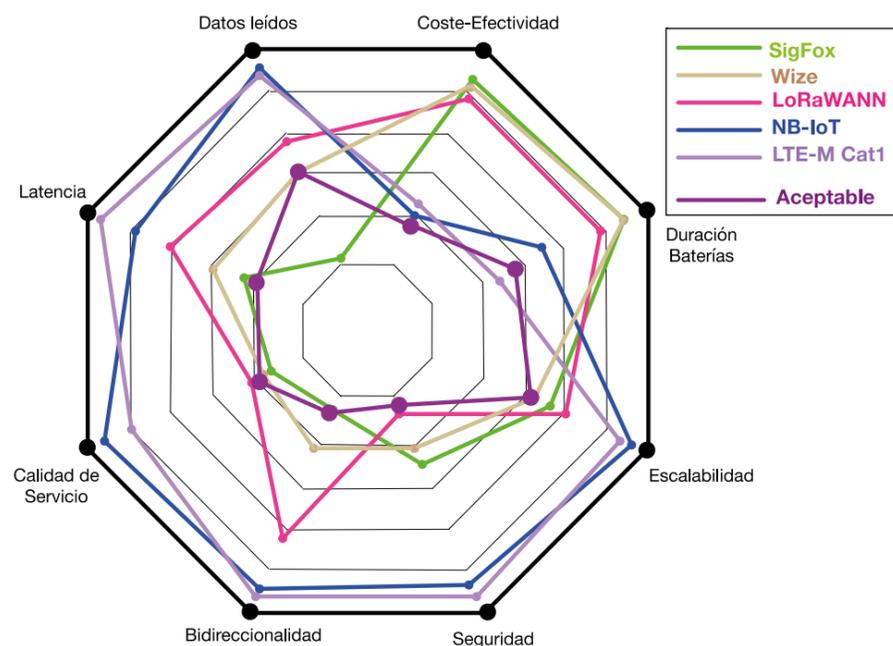


Figura 14. Comparativa de tecnologías por su adecuación a las necesidades de una operadora de aguas, escenario 2: AMI actual.

A destacar que en el escenario AMR (Figura 13) las cinco tecnologías serían admisibles (con LTE-M en el límite, por la baja duración de las baterías). En cuyo caso, serían otros criterios como el de coste-efectividad los que decantarían la solución escogida hacia las tecnologías no licenciadas.

En el caso AMI actual (Figura 14), la necesidad de un mayor número de lecturas y los requisitos de bidireccionalidad dejarían fuera de los mínimos aceptables a la tecnología de SigFox. LTE-M estaría nuevamente en el límite de lo admisible por la baja duración de las baterías, LoRaWAN lo estarían por la calidad del servicio y Wize por el número de datos leídos.

Finalmente, en el escenario AMI futuro (Figura 15), las tres tecnologías no-licenciadas quedarían fuera de lo admisible, por diferentes causas (fundamentalmente, seguridad, bidireccionalidad, latencia, número de datos leídos y calidad de servicio). Las dos tecnologías NB-IoT y LTE-M competirían, siendo la primera preferible en cuanto a coste y duración de baterías, mientras que la segunda ganaría en otros apartados, sobre todo en latencia.

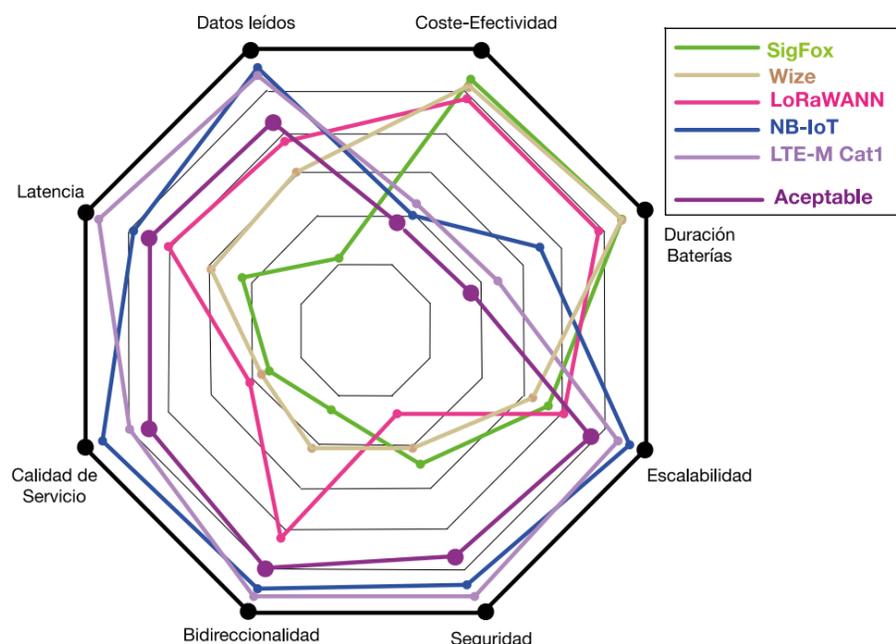


Figura 15. Comparativa de tecnologías por su adecuación a las necesidades de una operadora de aguas, escenario 3: AMI futuro.

5.5. 5G-IoT.

La integración de NB-IoT en 5G es todavía objeto de estudio. En [Gbad:2020]⁶ se hace una buena revisión de las capacidades, limitaciones, oportunidades y desafíos que presenta la integración de NB-IoT en 5G.

Según [Chet:2020]⁷ la integración de IoT en un marco 5G comprende una arquitectura de cinco capas, como se muestra en la Figura 16:

1. **Capa de Sensores:** que consta de un conjunto de sensores inteligentes, que se comunican con la capa de red. En nuestro caso los integrantes de esta capa serían, fundamentalmente, los contadores inteligentes, aunque podría haber otros integrantes como medidores de presión y caudal.
2. **Capa de red:** es una capa de acceso para los dispositivos inteligentes empleando tecnologías LPWAN como SigFox, LoRa, Wize, NB-IoT o LTE-M.
3. **Capa de comunicación:** en la capa de comunicación se utilizará, principalmente, la tecnología de acceso por radio 5G *New Radio* (NR), que está propuesta por el 3GPP como el estándar para la tecnología de comunicación inalámbrica de próxima generación. La tecnología 5G NR es parte de un conjunto más amplio de tecnologías de acceso radio (RAT), que contiene tanto LTE como 5G NR. La tecnología 5G NR está disponible en sub 6 GHz, así como en la banda 20-100 GHz. Es necesario indicar que, si bien el acceso directo por radio 5G NR para IoT introduce oportunidades, también incrementa de manera considerable la complejidad de los terminales radio.
4. **Capa de arquitectura:** 5G IoT prefiere una arquitectura basada en la nube porque en 5G el IoT co-existe con *Big Data* y se gestiona a través de la nube.

⁶ [Gbad:2020] S.A. Gbadamosi, G.P.Hancke, A.M. Abu-Mahfouz, "Building upon NB-IoT networks: A roadmap towards 5G new radio networks," IEEE Access, Oct. 2020.

⁷ [Chet:2020] L. Chetri, R. Bera, "A Comprehensive Survey on Internet of Things (IoT) Toward 5G Wireless Systems," IEEE Internet of Things Journal, vol. 7, no. 1, Jan. 2020.

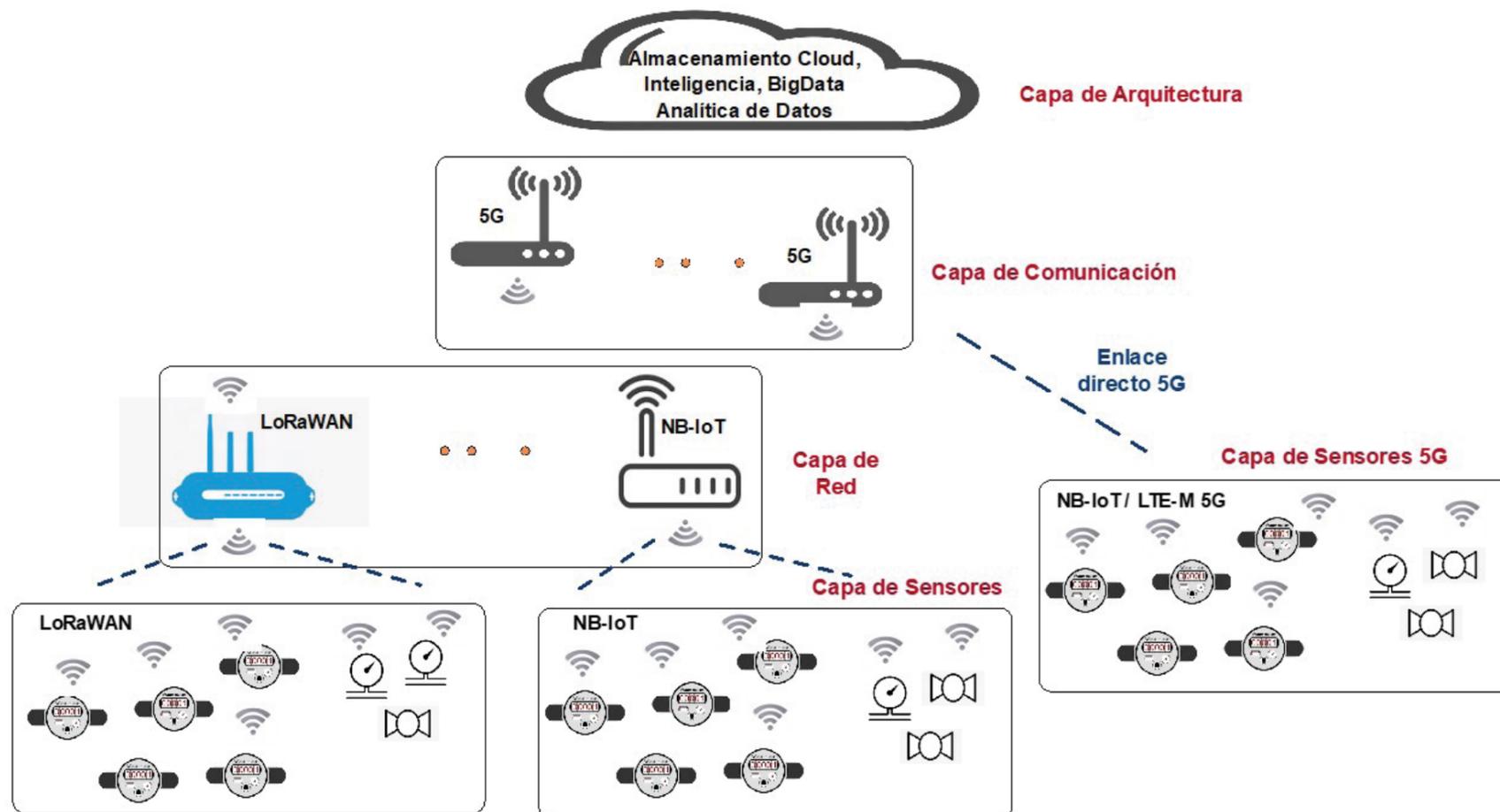


Figura 16. Representación gráfica de una arquitectura 5G IoT.

5. Capa de aplicación (no mostrada en Figura 16): en esta capa residen las aplicaciones de IoT, como *Smart Metering*.

La Figura 16 muestra una representación gráfica de la arquitectura 5G IoT. En esta arquitectura, los sensores inteligentes de IoT para diferentes aplicaciones están conectados a la capa de red a través de redes LPWAN, tales como SigFox, LoRa o NB-IoT. Esta capa de red recopila la información de los dispositivos IoT y transmite los datos recopilados a las estaciones base a través del enlace de comunicación 5G NR, en frecuencias preferiblemente superiores a los 6 GHz, de una forma muy eficiente mediante el uso extensivo de tecnologías tales como transmisión MIMO (*multiple-input multiple-output*) con conformación de haz, y construyendo redes heterogéneas denominadas HetNets. También son posibles comunicaciones directas NB-IoT o LTE-M, dado que el 3GPP garantiza la continuidad de NB-IoT y LTE-M en la nueva 5G IoT.

5.6. Duración de las baterías.

El periodo de revisión de los terminales inalámbricos viene fijado por la duración de su batería que, a su vez, depende de:

- el uso del terminal (siempre conectado o periódicamente desconectado);
- las corrientes de pico;
- las condiciones ambientales (dado que la temperatura y humedad afectan a la corriente de descarga);
- la calidad del enlace (es decir, buena o mala cobertura), ya que la potencia consumida en la recepción, y sobre todo en transmisión, depende de la calidad del enlace;
- el número de transmisiones que se realizan al día y;
- el tamaño de los paquetes.

La Figura 17 [Sous_2018]⁸ muestra la duración de la batería para el terminal inalámbrico ublox SARA-N2 module⁹ con consumo en transmisión de 792 mW (a una potencia máxima de 23dBm), 72 mW en recepción, 22 mW en reposo y 18 uW dormido. La capacidad de la batería es de 18000J (5Wh, lo que significa aprox. 15 Ah a 3.3 V). Los cálculos son teóricos y no tienen en cuenta las propias fugas de la batería ni su degradación debido a elevadas corrientes de pico o variaciones ambientales. El terminal tiene dos modos de funcionamiento, eMTC (*enhanced Machine Type Communication o LTE-M Cat M1*) y NB-IoT.

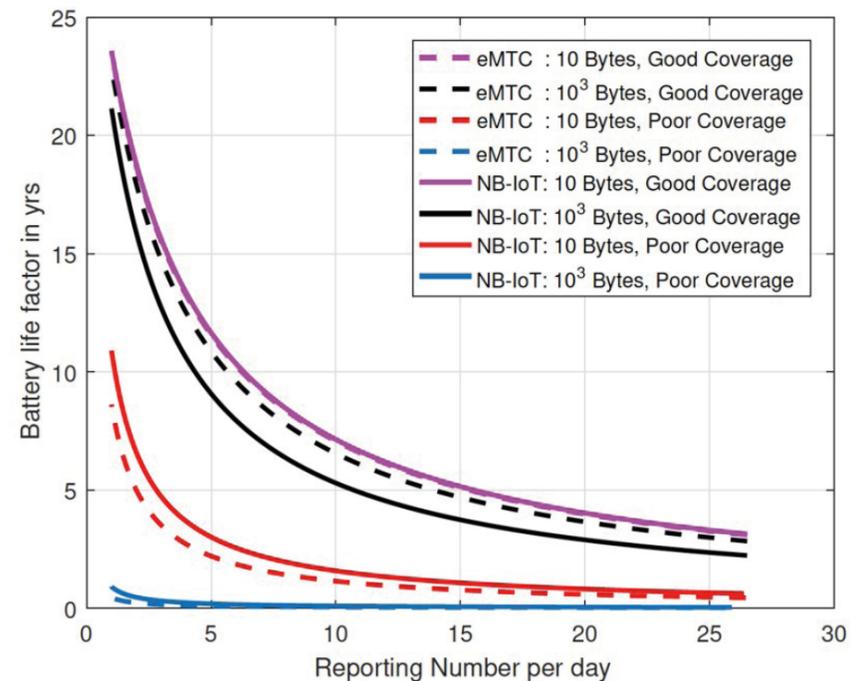


Figura 17. Duración de la batería para un terminal eMTC y NB-IoT con distintas condiciones de tráfico, tomado de [Sous:2018]).

Se puede comprobar que la calidad del enlace es de gran importancia para conseguir una buena duración de la batería. Así, con NB-IoT y una buena cobertura se pueden alcanzar 5 lecturas al día con 1000 bytes por lectura durante más de 8 años. La duración cae a menos de 3 años con 24 lecturas al día, hasta incluso unas pocas semanas con pobre cobertura. No obstante, los datos reportados en este estudio para caso de baja cobertura son pesimistas. Es posible realizar una gestión más eficiente del consumo si, como es habitual en el caso de *Metering*, se limita el número de repeticiones de tramas.

Como decíamos anteriormente, este análisis no tiene en cuenta la auto-descarga de la batería, la sobrecarga o la temperatura. Como referencia, las Figura 18a y Figura 18b nos muestran la variación de la capacidad de la batería debido a la auto-descarga y a la sobrecarga, así como la dependencia con la temperatura para baterías del mismo tipo, pero de otro fabricante¹⁰.

⁸ [Sous:2018] M.El Soussi, P- Zand, F. Pasveer, and G. Dolmans, "Evaluating the Performance of eMTC and NB-IoT for Smart City Applications," ICC 2018, doi: 10.1109/ICC.2018.8422799.

⁹ <https://www.u-blox.com/en/product/sara-n2-series>.

¹⁰ <https://tadiranbatteries.de/pdf/Technical-Brochure-LTC-Batteries.pdf>

Se puede apreciar que la auto-descarga se incrementa con el tiempo de operación. Con respecto a la sobrecarga, la pérdida de capacidad puede ser muy importante (de hasta un 80%), entendiéndose por sobrecarga la existencia de una corriente que excede la corriente estándar correspondiente al 76% de la capacidad de saturación. En cuanto a la dependencia con la temperatura, se puede observar que, para la batería utilizada en la Figura 18b (tipo SL-360 tamaño AA), el máximo de capacidad se alcanza para una temperatura de 25°C con una corriente constante de 3 mA. Nótese que, para una misma corriente, la pérdida de capacidad puede llegar a ser de hasta un 50% con temperaturas extremas.

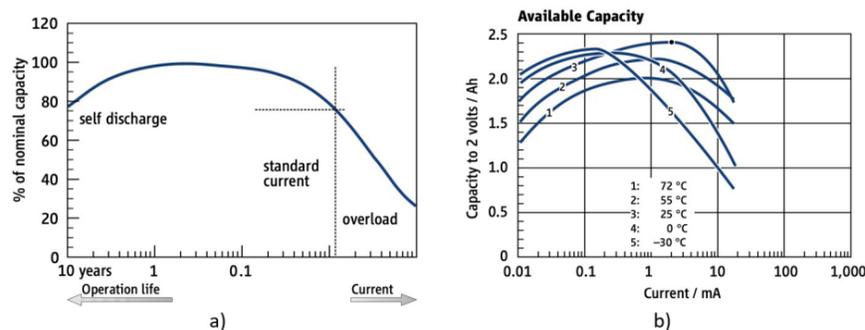


Figura 18. Degradación de la capacidad nominal en baterías LTC: a) dependencia con la corriente y la sobrecarga. b) dependencia de la capacidad disponible con la temperatura¹⁰.

Finalmente, tampoco se ha tenido en cuenta el consumo debido a la interfaz de lectura de contadores, ya que suele ser habitual que los módulos de lectura alimenten dicha interfaz. Este consumo depende del número de lecturas y del número de contadores que se dispongan en batería. Por experiencias previas con el bus UNE-82326:2010 y un máximo de 32 equipos en el bus, la realización de 24 lecturas al día supone un consumo inferior a una transmisión NB-IoT.

5.7. Tiempos de reposición de los terminales.

La vida útil del equipo de comunicaciones viene fijada por otros dos parámetros: 1) envejecimiento del equipo y 2) obsolescencia tecnológica. Admitiendo que el terminal de tele-lectura está adecuadamente protegido (IP67) y que las condiciones de instalación son las correctas, a los equipos electrónicos industriales se les suele asignar una vida útil por envejecimiento de 10 años. En nuestro caso, la simplicidad del terminal de comunicaciones nos permite suponer una vida útil mayor, por lo que el principal riesgo viene de la obsolescencia tecnológica.

En el caso de las soluciones licenciadas no hay garantías de continuidad del servicio. En el caso de soluciones licenciadas, la elección de una tecnología que es de uso ubicuo y que ha sido asumida por el 3GPP como parte del 5G IoT garantiza la continuidad del servicio, aunque es imposible predecir durante cuánto tiempo. Como referencia, el sistema de transmisión de datos GPRS se introdujo en 2001 y aún hoy sigue activo, aunque se desaconseja su uso en futuras aplicaciones como consecuencia de una posible discontinuidad del servicio por parte de los operadores. Para retrasar la obsolescencia tecnológica de los terminales es igualmente conveniente disponer de un sistema OTA-U que nos permita actualizar su *firmware*.

Finalmente, queremos destacar que es poco razonable pensar que los terminales de comunicación estarán operativos más allá de 12 años, ya que, aun cuando los terminales pudieran tener una prolongada vida útil (de 20 o más años), es previsible que el elevado ritmo de cambio tecnológico en el sector de las TICs introduzca la necesidad de disponer de terminales dotados de mayor inteligencia, menor consumo, directamente integrados en la red IP y que permitan flujos elevados de datos. Esto provocaría en una entidad la necesidad de sustituir los primeros terminales aun cuando éstos siguieran en funcionamiento.

5.8. Gestión de terminales y contadores.

Una parte importante del despliegue, que no debemos ignorar, es la necesidad de una plataforma para la gestión de dispositivos y contadores. Independientemente del tipo de plataforma que se escoja (lo que se considera en el apartado 9), hay un conjunto de características que es conveniente implementar tanto en los contadores como en los terminales de comunicación, que posibilitan y facilitan su gestión.

Respecto de los contadores.

Los contadores de agua usan estructuras de datos propietarias para el canal ascendente y emplean muy escasamente el canal descendente. Las restricciones de consumo de los terminales inalámbricos hacen hoy día inviable el uso en la tele-lectura de agua de protocolos como el *Device Language Message Specification* (DLMS), muy extendidos en el campo del *Metering* eléctrico, y que precisa de una conexión segura TLS entre el terminal y el servidor, en base a un protocolo TCP/IP. No obstante, la lógica evolución en las TICs y el incremento de capacidad de las baterías empiezan a mostrar ya una tendencia hacia la incorporación de este tipo de protocolos en contadores de gas. Esta tendencia pasará de manera natural a contadores de agua. Por ello, debemos permanecer alerta a la aparición en el mercado de este tipo de contadores y seleccionarlos en un futuro de manera preferente.

Respecto de los dispositivos.

La plataforma de gestión de los dispositivos de comunicación (*IoT Device Management*) debe ser capaz de:

- registrar los dispositivos de comunicaciones, vinculando el registro con los contratos de los clientes y gestionando el alta y baja de los mismos;
- gestionar la configuración del dispositivo, lo que incluye mantener tanto la versión de FW como otros parámetros de configuración (tales como la QoS);
- el estado del dispositivo (activo, inactivo, ...) y su batería y;
- las comunicaciones entre el dispositivo y los servidores.

Para ello los dispositivos deben disponer de un protocolo de gestión. Actualmente, en la tele-lectura de agua, cada fabricante utiliza su propio software de gestión, que es parte de su ecosistema, y sólo a través del mismo se pueden realizar las tareas de mantenimiento y monitorización de los dispositivos de forma segura.

Sin embargo, hay una tendencia a utilizar protocolos estándar que permitan interactuar con las plataformas de gestión de diferentes fabricantes, evitando servidumbres innecesarias. El protocolo estándar que mayor impacto está teniendo en la IoT es MQTT¹¹ (y su variante MQTT-SN), ya que es ligero, robusto y carente de *overhead*. Funciona por un modelo de suscripción-publicación. Aunque orientado a la comunicación, es posible construir sobre él un protocolo de gestión, como hace por ejemplo la IBM Watson IoT Platform¹². A destacar que MQTT precisa de conexión TCP/IP.

¹¹ <https://mqtt.org>.

¹² <https://console.bluemix.net/>.

Otro protocolo apropiado para la tele-lectura de agua es OMA Lightweight M2M (LwM2M)¹³. Creado por la *Open Mobile Alliance*, LwM2M es un protocolo rápido, ligero y estructurado, adecuado para dispositivos de baja capacidad. La capacidad de gestión de dispositivos de LwM2M incluye la provisión remota de credenciales de seguridad, la actualización de *firmware*, la gestión de la conectividad (por ejemplo, WiFi o celular), el diagnóstico remoto de dispositivos y la resolución de problemas de funcionamiento. LwM2M está pensado para uso con CoAP (*Constrained Application Protocol*), que es un protocolo de la capa de servicios pensado para dispositivos con recursos limitados que corre en la mayor parte de dispositivos que emplean el protocolo UDP (*User Datagram Protocol*). UDP es un protocolo de la capa de transporte que, a diferencia de TCP, no está orientado a conexión.

5.9. Conclusiones del estudio de soluciones tecnológicas.

A modo de conclusión, las tecnologías no-licenciadas pueden resultar atractivas por su bajo consumo (SigFox y Wize), por el control total de la tecnología y por sus buenas prestaciones (LoRaWAN) o por su bajo coste (SigFox), pero tienen problemas de escalabilidad, mantenibilidad (LoRaWAN y Wize), reducida tasa de datos (SigFox) y riesgo tecnológico (las tres). Tampoco son adecuadas para las necesidades del escenario AMI futuro ni para una futura integración en 5G-IoT. Aun así, son todavía tecnologías frecuentemente empleadas en tele-lectura.

De las tecnologías licenciadas, LTE-M tiene características muy interesantes como baja latencia, conectividad IP y facilidad de actualización por el aire, pero el elevado consumo de sus terminales hace que, a día de hoy, su uso sea inviable para la tele-lectura de una operadora de agua.

Por todo ello se considera que, a día de hoy, la tecnología NB-IoT representa una buena elección. A ello contribuyen su elevada tasa de datos, bajo ancho de banda, elevada cobertura, altos niveles de seguridad e integridad de la información, bidireccionalidad, escalabilidad y relativo bajo consumo, así como la garantía ofrecida por el 3GPP de que formará parte del 5G IoT. También es de interés la posibilidad de emplear conectividad IP mediante EPC, si bien a costa de una mayor complejidad en la pila de protocolos y un impacto negativo en el consumo.

En cuanto a sus inconvenientes, la no-conectividad IP no resulta grave para el caso de *Smart Metering*, salvo en un escenario de AMI-futuro, en donde los contadores tendrán una elevada inteligencia y podrán participar de manera activa en actividades tales como gestión de la demanda o en la interfaz con el cliente, lo cual queda fuera de las necesidades de un primer despliegue.

¹³ <https://omaspecworks.org/what-is-oma-specworks/iot/lightweight-m2m-lwm2m/>.

No ocurre lo mismo con la dificultad que presenta NB-IoT para su actualización por el aire (lo que se consigue a costa de un elevado consumo) y con la servidumbre que se establece con el operador que proporciona la SIM; éstos son inconvenientes que habrá que estudiar con más detalle.

Un aspecto de gran importancia que ha sido destacado en nuestro estudio es la duración de las baterías, ya que hemos visto que es muy dependiente, no sólo del tipo de operación del terminal inalámbrico y del número y duración de las transmisiones diarias, que son parámetros que podemos controlar fácilmente, sino también de otros parámetros menos controlables como las corrientes media y pico (que han de ser controlados por el fabricante del terminal durante el proceso de diseño). También tiene una gran importancia la temperatura de operación, y eso está fuera de nuestro control. Con los datos proporcionados en este estudio, de una forma conservadora, en el área metropolitana de Sevilla, para 5 lecturas diarias y con una batería de ultra-larga duración LCT de 15 Ah (3.3V), no deberíamos esperar una vida útil de un terminal NB-IoT de más allá de 8 años con una buena cobertura. Para alcanzar una duración de 12 años sería aconsejable optar por una única transmisión diaria (en la cual se envían todas las lecturas horarias) y una gestión muy eficiente de los terminales con baja cobertura.

Finalmente, es necesario tener en cuenta que el despliegue de decenas de miles de dispositivos de tele-lectura conlleva una importante labor de gestión que se realiza a través de plataformas IoT. Sin entrar en el fondo de la plataforma, que será motivo de otros apartados de este estudio, la gestión y comunicación de los dispositivos se facilita con el uso de estándares como MQTT-SN y LwM2M, que aseguran la operabilidad con múltiples plataformas, incluso *open-source*, y que evitan la servidumbre de protocolos propietarios. En un futuro, será igualmente conveniente la utilización del protocolo DLMS en los propios contadores.

5.9.1. Recomendaciones del estudio.

Como recomendaciones de este estudio se plantea la posibilidad, antes de proceder a la implementación de la tele-lectura, de realizar un piloto de prueba NB-IoT a escala suficiente, con los siguientes objetivos:

1. Comprobar la bidireccionalidad de los terminales, con la finalidad de:
 - Cambiar la frecuencia de las medidas en periodos determinados de tiempo (por ejemplo, para realizar lecturas con periodo de 5 minutos durante un intervalo de 4 horas). Esta facilidad es útil para la realización del balance hídrico y para la estimación de fugas, así como para detectar funcionamientos incorrectos del terminal de lectura.
 - Comprobar la capacidad de actualización del *firmware* por aire (OTA-U). Esta facilidad es útil para resolver problemas de diseño, introducir mejoras en el *firmware* del terminal y retrasar la obsolescencia tecnológica del terminal.
2. Comprobar la capacidad de cambio de operadora por cambio del perfil eSIM. Esta facilidad es útil para eliminar la servidumbre con el operador de telecomunicaciones.
3. Comprobar los consumos y ajustar un modelo realista de consumo. Para ello los terminales deben llevar incorporado un estimador de consumo basado en los siguientes parámetros diarios:
 - De transmisión: tiempo que permanece activo el transmisor, número de transmisiones, tamaño de los paquetes de datos, potencia de transmisión y calidad del enlace.

- De recepción: tiempo que permanece activo el receptor y calidad del enlace.
 - De medidas: número de contadores en el bus, número y tipo de medidas.
 - Del bloque de control del módulo: porcentaje de tiempo en que el módulo permanece en cada uno de los estados de funcionamiento (active, iddle, sleep, deep-sleep, ...).
 - Medición de la tensión en bornes de la batería.
4. Comprobar la disponibilidad y el efecto en el consumo de los dispositivos la implementación de estándares de comunicación y gestión de dispositivos IoT como MQTT (MQTT-SN) y LwM2M.

Un piloto suficiente podría consistir de:

5. 120 contadores, 88 de ellos agrupados en batería de 2 (4), 8 (2) y 32 (2) contadores, e instalados en puntos con diferentes coberturas.
6. Dos terminales diferentes homologados por varias operadoras, que tuvieran capacidad eSIM.
7. Emplear la red de dos operadores de telecomunicación que admitan la conmutación de terminales entre sus redes.

Tres meses sería un tiempo suficiente para la duración de las pruebas.

6. Modelos de operación de tele-lectura.

El objetivo de este apartado es caracterizar los distintos modelos de operación de la tele-lectura en función de quién es el dueño de los contadores y/o de los módulos de lectura, así como del tipo de contrato con el operador (en el caso de utilizar comunicaciones operadas). Asimismo, se analizarán los modelos de tele-lectura como servicio y tele-lectura como infraestructura.

En esta fase del estudio comenzaremos por revisar el estado actual de la lectura de consumos en nuestra empresa de referencia y realizar algunas hipótesis de partida que nos definirán los límites del estudio, para presentar posteriormente los diferentes modelos de operación de la tele-lectura que son de interés. Terminaremos con un análisis comparativo de los mismos.

Se tendrán en cuenta aspectos tales como:

- Contadores, en cuanto a su titularidad, interfaces, etc.
- Acceso a contadores.
- Instalación, reparación, mantenimientos y sustitución de otros elementos de la red de suministro, tanto en zonas públicas como privadas (de nuestra empresa o de un tercero).
- Transmisión y seguridad de datos.
- Infraestructura de red para la tele-lectura.
- Especificaciones, inspección y verificación de la operación de tele-lectura.

6.1. Estado actual.

1. Contadores de agua para tele-lectura:

- El operador de agua es propietaria de todos sus contadores.
- En la actualidad se licita mediante concurso público el suministro de los contadores de agua para su red de distribución.
- La gran mayoría de los contadores actuales del operador tienen, y todos los que se adquieran en el futuro tendrán, una interfaz para acoplarse de manera directa a un sistema externo de tele-lectura.
- Las interfaces de tele-lectura de los contadores de agua están suficientemente estandarizadas como para que se puedan utilizar equipos de diferentes fabricantes, tanto en los contadores como en los terminales de tele-lectura. No obstante, debemos tener especial cuidado en la especificación de uno y otro componente para asegurar que cumplen con las interfaces seleccionadas.
- El operador tiene capacidad (personal, conocimiento y medios) para supervisar la selección y adquisición de los contadores.

2. Acceso a contadores:

- Si bien hemos ido adaptando a lo largo del tiempo una parte significativa del parque de contadores para que su lectura pueda realizarse sin necesidad de acceder a zonas privadas (viviendas, zonas comunes privadas, etc.), lo cierto es que, en muchos casos, el acceso a los contadores y/o a su lectura requiere el acceso a zonas privadas del cliente.

- En la actualidad, el operador de agua licita mediante concurso público los Trabajos de Ejecución de Acometidas y Explotación del Parque de Contadores.
 - El operador tiene capacidad (personal, conocimiento y medios) para supervisar la instalación, mantenimiento y sustitución de los contadores.
3. Instalación, reparación, mantenimiento y sustitución de otros elementos de la red de suministro, tanto en zonas públicas como privadas, de nuestra empresa o de un tercero (por ejemplo, en cuarto de contadores):
- La instalación y sustitución de otros elementos de la red en zonas públicas y privadas las realiza una empresa subcontratada, adjudicataria de un contrato.
4. Transmisión y Seguridad de datos:
- En la actualidad, salvo algunos pilotos de escasa magnitud, los datos se adquieren de forma semi-automática con un terminal de mano, haciéndose la transmisión por conexión física a un servidor de la empresa, o por medios telemáticos con niveles suficientes de seguridad.
5. Infraestructura de red para la tele-lectura de contadores de agua:
- Aparte de algunos pilotos de escasa magnitud, nuestra empresa no realiza actualmente la tele-lectura de sus contadores. Aun cuando ha hecho estudios previos, no ha realizado la selección de una determinada tecnología de comunicaciones.
- Las infraestructuras correspondientes a la red de comunicaciones para tele-lectura de contadores de agua adolece de un problema de estandarización. Las redes de tele-lectura existentes comercialmente no son interoperables y, a pesar de los esfuerzos de instituciones como ESMIG¹⁴, no parece que esta situación vaya a cambiar en un futuro próximo. Así, un equipo de comunicaciones del fabricante A no es interoperable con otro equipo del fabricante B, incluso aunque ambos realicen la misma funcionalidad, e incluso aunque ambos utilicen la misma tecnología de acceso. Aunque existen estándares como OMS, KNX, M-Bus y Wireless M-Bus, los primeros por ser cableados, y el último por su corto alcance, sólo son útiles para realizar la conexión del contador con un controlador local o con un terminal de comunicaciones para lectura remota.

¹⁴ <https://esmig.eu>

6.2. Hipótesis de partida.

1. Contadores de agua para tele-lectura:

- Se contempla la posibilidad de que el parque de contadores sea, en un futuro, parcial o totalmente propiedad de un tercero que alquile su uso a nuestra empresa como parte de la licitación de un servicio de tele-lectura.
- Se admite la posibilidad de que sea también esa empresa tercera la que determine las especificaciones y seleccione el tipo y marca de contadores, siempre que se cumpla un conjunto de especificaciones generales de metrología proporcionadas por nuestra empresa.

2. Acceso a contadores:

- Se contempla la posibilidad de que las operaciones de instalación, mantenimiento y sustitución de contadores sean incluidas, junto con los contadores, en un mismo concurso, siendo la(s) empresa(s) adjudicataria(s) responsable(s) de todos los aspectos de *Metering*, siempre que se cumpla un conjunto de especificaciones generales de AMR proporcionadas por nuestra empresa.

3. Instalación, reparación, mantenimiento y sustitución de otros elementos de la red de suministro, tanto en zonas públicas como privadas, de nuestra empresa o de un tercero (por ejemplo, en cuarto de contadores):

- La instalación, reparación y/o sustitución de los terminales de tele-lectura (o de sus baterías) son operaciones nuevas que implican una modificación de la relación de nuestra empresa con el cliente.

- Dependiendo del modelo seleccionado estas operaciones las puede realizar la misma empresa que instala, mantiene y repone los contadores o una empresa distinta.
- En la medida de lo posible estas operaciones deberían pasar desapercibidas al cliente. Para ello nuestra empresa debe especificar este procedimiento, de manera que estas operaciones:
 - pudieran coincidir con las normales de instalación / sustitución de contadores;
 - sean muy simples, no requiriendo personal ni equipo especializado;
 - sean compatibles (en tamaño, peso, elementos de fijación, etc.) con las instalaciones actuales, minimizando las modificaciones a realizar en los cuadros o elementos de soporte y protección;
 - requieran un tiempo mínimo, eliminando, o como mínimo limitando, cualquier comprobación que requiera un tiempo de espera por parte del operario.
- Dependiendo del modelo de operación, estas tareas pueden ser realizadas por la misma empresa que instala, mantiene y repone los contadores, formando parte del mismo contrato; en este caso:
 - la empresa adjudicataria de la fabricación y/u operación de los terminales de tele-lectura deberá aportar la información, formación y medios necesarios para que el personal que instala los contadores pueda instalar y sustituir estos terminales de forma autónoma;
 - el operador debe contemplar el aumento de trabajo en las licitaciones correspondientes.

4. Transmisión y seguridad de datos.

Dependiendo del modelo de operación seleccionado, la red de comunicaciones puede ser propiedad de nuestra empresa o de un tercero. Incluso si nos encontramos en el primer caso, la red puede ser gestionada por nuestra empresa o por un tercero.

En cualquier caso, el operador de agua debe exigir y vigilar:

- el cumplimiento de la normativa vigente para las redes de comunicación (niveles de emisión, tasa ocupación del espectro, interferencias, etc.);
- el adecuado grado de robustez de los equipos y sistemas de comunicaciones empleados frente a interferencias externas que puedan perturbar, tanto la calidad de los enlaces como la lectura de los datos procedentes de los contadores;
- que las transmisiones se realizan con niveles de seguridad que garanticen:
 - la integridad y calidad, tanto de los datos como de la información de control que se transmite por la red de comunicaciones;
 - la correcta identificación de la información transmitida, así como su confidencialidad;
 - la adecuada seguridad frente a ataques externos;

Aunque estos son requisitos típicos de un sistema de comunicación, se debe prestar especial atención en el caso de la tele-lectura, debido a la elevada cantidad de terminales, a la relativa simplicidad de su diseño (consecuencia de una necesaria limitación de costes unitarios), a su disposición en zonas no protegidas ni vigiladas y a la constante evolución tecnológica y normativa, asuntos todos ellos propios de la Internet de las Cosas.

5. Infraestructura de red para la tele-lectura de contadores de agua:

- El operador no tiene capacidad para desarrollar una infraestructura propia de tele-lectura, ni para actualizar y mantener una infraestructura propia desarrollada por un tercero sin su intervención.
- El operador no dispone ni del personal, ni de los medios, ni del conocimiento necesario para desarrollar terminales inalámbricos y/o protocolos propios, ni para desarrollar e implementar las necesarias actualizaciones HW y FW, ni para mantener activa la infraestructura frente a los cambios tecnológicos que se producen por cambios normativos u obsolescencia tecnológica propios del sector de las telecomunicaciones.

6. Especificación, inspección y verificación de la operación de tele-lectura:

- La introducción de la tele-lectura supone un cambio en la forma en que los datos se recogen de los contadores, llegan a los servidores de la empresa y en la relación que mantenemos con nuestros clientes.
- En los apartados anteriores de estas consideraciones se han presentado algunas necesidades relacionadas con las especificaciones de equipos y operaciones, así como con la necesidad de inspección y verificación, tales como las que afectan a los equipos que se instalan, a las operaciones que afectan a su instalación, reparación, mantenimiento y sustitución, y a la utilización del espacio radioeléctrico, anteriormente comentadas.
- Otras tareas de especificación, inspección y verificación se deben realizar en alto nivel, incluyendo la calidad y seguridad de las comunicaciones extremo a extremo y la verificación del cumplimiento de los requisitos exigidos en los pliegos de licitación.

- El operador de agua deberá también conocer las operaciones que se realizan sobre los terminales de tele-lectura (especialmente en el caso en que sea una empresa externa las que las realice) que puedan afectar a las relaciones con los clientes, especialmente aquéllas que requieren un acceso físico a sus instalaciones, a fin de asegurar la calidad del servicio y mantener el grado de satisfacción del cliente. También deberá conocer las incidencias que se originan y cómo se tratan y resuelven.
- Finalmente, deberemos monitorizar la calidad del servicio y la satisfacción de los clientes con el nuevo servicio.

El alcance y la forma en que se realizan estas tareas depende del modelo de operación elegido para la tele-lectura. En cualquier caso, nuestra empresa deberá dotar los medios y los recursos materiales y humanos necesarios para llevar a cabo estas tareas, ya sea con medios propios o mediante subcontratación.

6.3. Modelos de operación.

Se consideran tres modelos principales de operación. En algunos de ellos se detallan algunos problemas y se proponen alternativas:

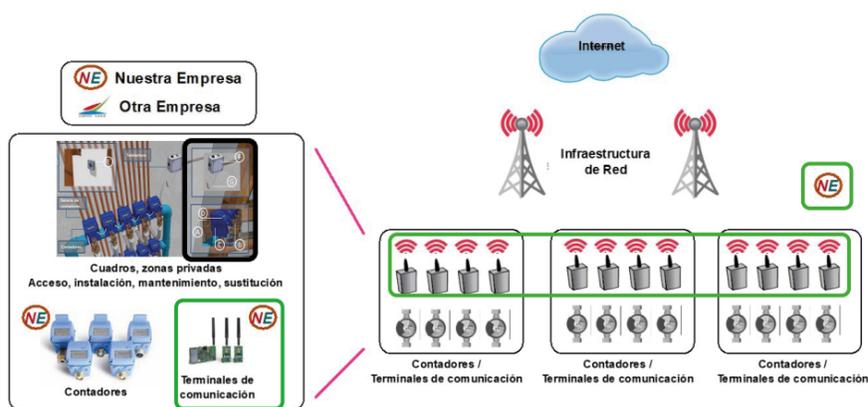
- Modelo 1: AMR totalmente propietario.
- Modelo 2. Comunicaciones como servicio.
- Modelo 3. *Metering* como servicio.

En las figuras 19, 20 y 21 se muestra de forma gráfica el alcance de los nuevos trabajos que deberán licitarse a un tercero (o terceros) como consecuencia de la tele-lectura, para los tres modelos anteriormente mencionados.

Con marco verde o amarillo se destaca la parte del proceso de AMR que se añade o modifica respecto de la situación actual. El marco amarillo se reserva para la parte correspondiente a la instalación, mantenimiento y sustitución de terminales (en el caso de la Figura 21, también de los contadores), que puede ser adjudicado a la misma empresa a la que se adjudique el resto de la tele-lectura o a un tercero.

El logo que se añade a cada cuadro de color verde (el de la operadora de aguas o el de una empresa genérica), corresponde a la entidad propietaria de los equipos e infraestructuras correspondientes.

6.4. Modelo 1. AMR totalmente propietario.



En este modelo todo el sistema (contadores y tele-lectura) es propiedad de la operadora de aguas (Figura 19).

Figura 19. Modelo 1 de tele-lectura. Totalmente propietario.

1. Infraestructura de medición (contadores):

- Propiedad de los contadores: De la operadora de aguas.

Éste es el modelo actual, sin cambios en cuanto a la infraestructura de medición, por lo que no se describe en este documento.

Como extensión del modelo actual, nuestra empresa especifica las características de las lecturas (número y tipo de datos a leer, frecuencia de las medidas, gestión de las alarmas, tipo de seguridad), las interfaces con los contadores, así como las actuaciones necesarias sobre los mismos (por ejemplo, calibración remota,

actualización de *firmware*, re-inicialización, cambios en el patrón de lecturas, etc.).

2. Instalación, mantenimiento y sustitución de los contadores:

- La operadora de aguas licita la instalación, el mantenimiento y la sustitución de los contadores.
Éste es el modelo actual, sin cambios, por lo que no se describe en este documento.

Como extensión del modelo actual, en la misma licitación se podría incluir la instalación, reparación, sustitución y mantenimiento de los terminales de tele-lectura.

3. Infraestructura de red para la tele-lectura:

- Propiedad de los terminales de tele-lectura: la operadora de aguas.

En este caso, el operador debería llegar a un acuerdo con un tercero (mediante licitación) para la provisión de los terminales de comunicaciones.

Desde el punto de vista de la interface con el contador, los terminales de comunicación deben cumplir las especificaciones comentadas en el punto descrito anteriormente.

Desde el punto de vista de las comunicaciones, el operador selecciona la(s) tecnología(s) de comunicación más adecuada(s) y especifica las características de uso de la(s) misma(s), de acuerdo con sus respectivos estándares. Esta especificación puede ser:

- De bajo nivel: estándares, incluyendo banda de frecuencias, tipos de modulación, tasas de datos, protocolo de red, protocolos de seguridad, etc.
- De alto nivel: frecuencia mínima de adquisi-

ción de datos, latencia máxima, porcentaje máximo de mensajes perdidos y nivel de seguridad extremo a extremo, distinguiendo, en su caso, según el tipo de mensajes (inicialización, datos, control, alarmas, actualizaciones, ...) y entre recepción y transmisión.

En caso de las tecnologías de comunicación es especialmente relevante la opción entre una solución propietaria completa *end-to-end* (utilizando, por ejemplo, LoRaWAN) y una red operada como Wize, SigFox, NB-IoT o LTE-M (en un futuro cercano, 5G-IoT).

Aunque también es posible considerar soluciones basadas en tecnologías mixtas donde los terminales acceden a una red operada a través de routers o concentradores que operan con una tecnología propietaria, se desaconseja la elección de estas soluciones porque conllevaría la necesidad de acometer y mantener una ingeniería de redes de comunicación para asegurar un correcto despliegue de la infraestructura (routers y/o concentradores), a la vez que se añadirían nuevos costes asociados a su operación y mantenimiento.

En cualquier caso, debe evitarse la utilización, por parte de la empresa adjudicataria, de protocolos no estandarizados, incluso propietarios de un tercero, que pudieran introducir cualquier tipo de servidumbre tecnológica.

De particular interés es en este caso la necesidad de garantizar, durante un plazo de tiempo suficiente:

- el suministro de terminales y las actualizaciones de software y *firmware* que fueran necesarias;
- la adecuada protección frente a cambios tecnológicos derivados de las variaciones típicas del mercado de las telecomunicaciones (cambios normativos, volatilidad de componentes y proveedores, obsolescencia tecnológica, etc.);
- la existencia de terceras fuentes que permitieran continuar con el servicio ante cual-

quier eventualidad sin perjuicio para nuestra empresa.

- Instalación, mantenimiento y sustitución de los terminales de tele-lectura.

Nuestra empresa licita la instalación, el mantenimiento y la sustitución de los terminales de comunicación para la tele-lectura. Como se comentó anteriormente, cabe la posibilidad de unificar esta licitación con la de instalación, mantenimiento y sustitución de los contadores, de manera que lo realice(n) la(s) misma(s) empresa(s).

- Propiedad de la red de comunicaciones: Depende de la tecnología empleada:
 - Tecnologías propietarias no operadas. La empresa adjudicataria debe proporcionar garantías de que la red de comunicación seguirá operativa durante todo el tiempo de vida útil del contrato y que existen otras empresas que pueden mantener el servicio de comunicaciones ante cualquier eventualidad probable, sin que ello represente un perjuicio de nuestra empresa.
 - Tecnologías operadas. Nuestra empresa debe garantizar, mediante acuerdos con los operadores de los servicios de red, que la red de comunicaciones seguirá proporcionando el servicio durante todo el tiempo de vida útil del contrato, bien por ser tecnologías licenciadas que incluyan este compromiso como parte de la licencia (caso de NB-IoT, LTE-M y, en el futuro, 5G NR), bien mediante acuerdos específicos con el operador de telecomunicaciones (caso de SigFox y Wize).

Comentarios generales de este modelo de operación.

En este modelo nuestra empresa se responsabiliza de todo el proceso de tele-lectura, manteniendo la exclusividad en la relación con el cliente y la gestión de sus

datos, y externalizando tan sólo el diseño y fabricación de los terminales de tele-lectura. A cambio, nuestra empresa se convierte en operadora de su propia red de comunicaciones (en el caso de elegir una red de comunicaciones no operada) o, cuanto menos, en gestora de un servicio de telecomunicaciones operada por un tercero (en el caso de optar por una red operada), con las correspondientes exigencias en medios humanos y materiales especializados en tecnología e infraestructura de redes de telecomunicación. Especial atención debe prestarse a la garantía del suministro, a la vida útil de las redes y tecnologías de comunicación seleccionadas y a evitar posibles servidumbres tecnológicas.

En este modelo las licitaciones tienen una fuerte componente tecnológica, lo que atrae a empresas tecnológicas en el mercado de la IoT y las telecomunicaciones y favorece la participación de pequeñas y medianas empresas locales y regionales.

La posible existencia simultánea de varios adjudicatarios que suministran diferentes equipos terminales, incluso con diferentes tecnologías de comunicación, hace que la relación de nuestra empresa con los mismos requiera la existencia de un departamento que cuente con expertos en el tema y que gestione las subcontrataciones correspondientes, en el caso que fueran necesarias.

6.5. Modelo 2. Comunicaciones como servicio.

A diferencia del modelo anterior, en este modelo una empresa externa se encarga de la recolección de datos de los contadores (que siguen siendo propiedad de nuestra empresa) y de su entrega en tiempo real a nuestros servidores.

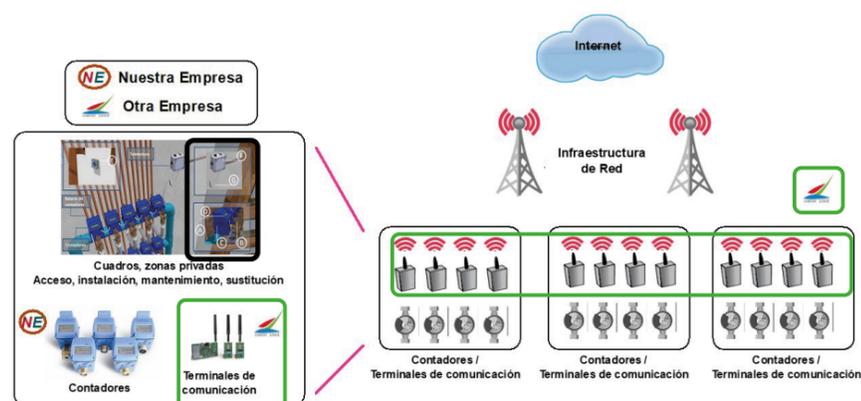


Figura 20. Modelo 2 de tele-lectura. Comunicaciones como servicio.

1. Infraestructura de medición (contadores):

- Propiedad de los contadores: De la operadora de agua.

Éste es el modelo actual, sin cambios en cuanto a la infraestructura de medición, por lo que no se describe en este documento.

Como extensión del modelo actual, nuestra empresa fijará las características de las lecturas (número y tipo de datos a leer, frecuencia de las medidas, gestión de las alarmas, tipo de seguridad), las interfaces con los contadores, así como las actuaciones necesarias sobre los mismos (por calibración remota, actualización de *firmware*, re-inicialización, etc.).

2. Instalación, mantenimiento y sustitución de los contadores:

- La operadora de aguas licita la instalación, el mantenimiento y la sustitución de los contadores.

Éste es el modelo actual, sin cambios, por lo que no se describe en este documento.

Como extensión del modelo actual, en la misma licitación se podría incluir la instalación, reparación, sustitución y mantenimiento de los terminales de tele-lectura.

3. Infraestructura de red para la tele-lectura:

- Propiedad de los terminales de tele-lectura: empresa externa.

- Instalación, mantenimiento y sustitución de los terminales de tele-lectura.

El operador licita la instalación, el mantenimiento y la sustitución de los terminales de comunicación. En este caso es posible también: 1) incluir estas tareas en la licitación general de AMR para que lo realice(n) la(s) misma(s) empresa(s), 2) incluir estas tareas en la misma licitación de instalación, mantenimiento y sustitución de los contadores, de manera que lo realice(n) la(s) misma(s) empresa(s), o 3) licitarlo como un trabajo independiente.

- Propiedad / uso de la red de comunicaciones: empresa externa.

Comentarios generales de este modelo

En este modelo, el operador de aguas se independiza de los equipos de comunicación, así como de las tecnologías y redes de comunicaciones, que pasan a ser responsabilidad de una empresa externa. Es ésta la que debe seleccionar las tecnologías más adecuadas (aunque el operador podría forzar la elección de una de ellas) y garantizar la viabilidad y seguridad del servicio de tele-lectura.

Desde el punto de vista del operador, la tele-lectura es un servicio que se solicita en base a unas especificaciones de alto nivel, penalizando los incumplimientos. Estos requisitos pueden ser: frecuencia mínima de adquisición de datos, latencia máxima, porcentaje máximo de mensajes perdidos y nivel de seguridad extremo a extremo, distinguiendo, en su caso, según el tipo de mensajes (inicialización, datos, control, alarmas, actualizaciones, etc.) y entre recepción y transmisión. Las especificaciones podrían modificarse de una licitación a otra, en función de las necesidades de nuestra empresa y de los avances tecnológicos. La empresa externa es responsable de proporcionar el servicio de tele-lectura durante los plazos especificados, en su caso, independientemente de la tecnología de red empleada.

Debido a esta independencia, las labores de especificación, inspección y verificación que realiza la operadora de aguas sobre empresas terceras deben aumentar para garantizar que se cumplen las especificaciones y requisitos de los correspondientes pliegos, garantizar el servicio de tele-lectura con la adecuada calidad y seguridad, e imponer las penalizaciones correspondiente en caso de incumplimiento.

Conviene hacer notar aquí que, con este modelo de operación resulta posible (incluso probable) que sean varias las empresas que proporcionan simultáneamente el servicio de tele-lectura en diferentes localizaciones (bien por resultar adjudicatarias de diferentes licitaciones, bien porque se ofrezcan licitaciones con varios adjudicatarios), especialmente si las adjudicaciones del servicio se realizan por periodos cortos de tiempo. Esto diversifica los riesgos, pero complica las relaciones con los adjudicatarios y las operaciones de inspección y verificación.

Las licitaciones con este modelo pueden ser atractivo a un gran número de empresas, procedentes de diferentes sectores, desde las especializadas en tele-lectura de aguas, hasta las especializadas en IoT y operadores de telecomunicación, por lo que cabe esperar una gran competencia.

6.6. Modelo 3. *Metering* como servicio.

A diferencia del modelo anterior, una empresa externa se encarga de todo el proceso, tanto de *Metering* como de tele-lectura. La operadora de aguas se limita a recibir los datos en sus servidores en tiempo real, pero no es propietaria, ni instala, ni opera ni mantiene la infraestructura de *Metering*.

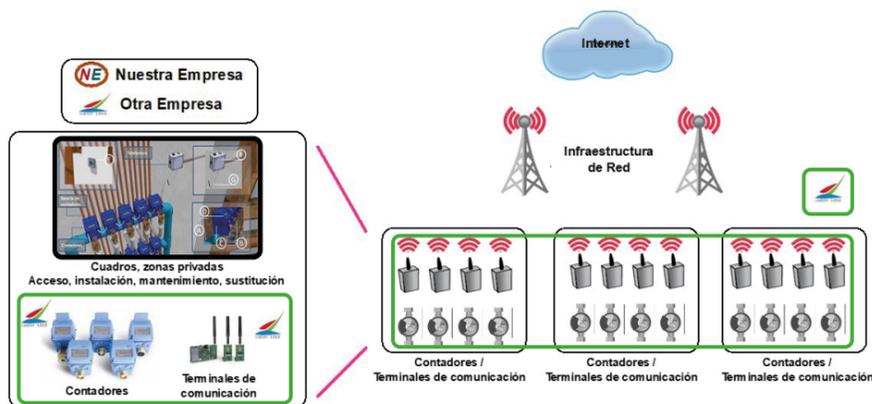


Figura 21. Modelo 3 de tele-lectura. *Metering* como servicio.

1. Infraestructura de medición (contadores):

- **Propiedad de los contadores:** Empresa externa.
Como diferencia respecto al modelo anterior, ahora la operadora de aguas deberá especificar las características del *Metering*, tales como la calidad del contador, la duración de sus baterías según el tipo de operación, sus dimensiones e interfaces de lectura (aparte las propias de la tele-lectura) y sus características y requisito de instalación y sustitución.
En este modelo de servicio cabe la posibilidad de que el contador y el terminal de comunicaciones sean equipos separados (como en los modelos de servicio anteriores) o vengán ya integrados, como lo ofrecen algunos suministradores.

2. Instalación, mantenimiento y sustitución de los contadores:

- Aquí caben dos posibilidades: que estas operaciones las licite la operadora de aguas de manera independiente o vayan incluidas en la licitación general de AMR para que las realice(n) la(s) misma(s) empresa(s), junto con la instalación, operación y mantenimiento de los terminales de comunicaciones.

3. Infraestructura de red para la tele-lectura:

- **Propiedad de los terminales de tele-lectura:** empresa externa.
- **Instalación, operación y mantenimiento de los terminales de tele-lectura:** se licita de manera independiente por el operador o se incluye en el contrato de tele-lectura para que estas operaciones las realice(n) la(s) misma(s) empresa(s).
- **Propiedad y/o gestión de la red de comunicaciones:** empresa externa.

Comentarios generales de este modelo:

Éste es el modelo de operación más simple de gestionar por el operador de aguas, dado que, tanto el *Metering* como la tele-lectura las realiza una empresa externa.

Desde el punto de vista del operador, el modelo es muy flexible y permite una fácil integración de diferentes proveedores, empresas de suministro, tecnologías, operadores, etc. Si bien las inspecciones y verificaciones se realizan fundamentalmente en alto nivel (extremo a extremo), como se comentó en el apartado 5.2, el operador no debería descuidar una labor de verificación e inspección en niveles inferiores que permitieran adelantar la

detección de problemas en el servicio de AMR o insatisfacciones de sus clientes. En este tipo de servicios “llave en mano”, es muy importante la existencia de cláusulas de penalización y su estricta aplicación.

Este modelo atrae a fabricantes de contadores, que cuentan con sistemas de tele-lectura integrados, a grandes empresas de AMR/AMI, y favorece la creación de consorcios entre empresas suministradoras de contadores y operadores tecnológicos. También favorece la integración de la tele-lectura con las herramientas de análisis de datos, suministradas en la mayor parte de los casos por las mismas empresas que proporcionan la tele-lectura.

En este caso resulta muy conveniente diversificar el riesgo y evitar servidumbres tecnológicas.

7. Soluciones de tele-lectura disponibles en el mercado.

El objetivo de este apartado es documentar las posibilidades reales de las tecnologías disponibles en función de lo que ofrecen los fabricantes (de equipos de comunicación, de infraestructura de red, de contadores, etc.). De esta forma, no sólo conoceremos las posibilidades tecnológicas, sino las que ofrece el mercado.

Existen numerosos fabricantes de contadores inteligentes en el mercado del agua con capacidad de tele-lectura, incluyendo la propia medida, los equipos de comunicaciones y que, incluso, instalan y operan su propia infraestructura. Citaremos tan sólo los más importantes en Europa: Diehl Metering, SUEZ, Itron, Sensus and Kamstrup.

Otras soluciones como las de Amper¹⁵ y Semtech¹⁶ pueden verse en su correspondiente página Web. Algunas grandes compañías como Siemens, Ericsson, Landis & Gyr, IBM y SAP ofrecen AMI como servicio en colaboración con otras empresas. Finalmente, operadores de telecomunicación como Telefónica y Vodafone no sólo proporcionan conectividad, sino que recientemente han formado consorcio con empresa especializadas del sector para proporcionar soluciones completas para *Smart Metering* de agua.

Diehl Metering.

Diehl Metering¹⁷ proporciona soluciones móviles para lectura de contadores basadas en *walk-by*, soluciones AMI o una combinación de ambas.

Diehl ha estado durante más de 20 años utilizando su tecnología (IZAR RADIO) para recopilar de forma fiable los datos de una amplia gama de contadores y transmitirlos a su plataforma de software IZAR. De este modo realizan un flujo de datos continuo, desde el dispositivo de medición hasta la supervisión, la gestión y el análisis de los datos.

Diehl cuenta además con una amplia variedad de contadores de agua, incluyendo contadores de ultra-sonido, y es capaz de integrar, a través de su plataforma IZAR, equipos de otros fabricantes.

15 <https://www.grupoamper.com/Smart Metering/>.

16 <https://www.semtech.com>.

17 <https://www.diehl.com>.

SUEZ.

SUEZ¹⁸ es un grupo empresarial especializado en la recuperación y la protección de los recursos. Sus áreas de actuación son la gestión del agua y la energía, el reciclaje y la recuperación de residuos, las soluciones de tratamiento y la consultoría en mercados municipales, industriales y agrícolas.

SUEZ Advanced Solutions es la línea de negocio del grupo SUEZ para el desarrollo de soluciones tecnológicas, la gestión de datos para la toma de decisiones y la digitalización de los procesos productivos dedicados al agua y la energía, con el objetivo de mejorar la eficiencia de los recursos.

La solución de tele-lectura de SUEZ se basa en la plataforma ON'connect, cuyos datos se almacenan en la nube y se gestionan de manera centralizada en un centro de control, llamado Dinopsis. ON-connect emplea la tecnología de comunicaciones Wize.

Itron.

Itron¹⁹ es uno de los mayores proveedores de soluciones de *Smart Metering* de agua, desde contadores inteligentes, hasta sistemas de AMR, AMI, plataforma de IoT, IoT en la nube y herramientas de analíticas de datos.

En lo que concierne a los aparatos de medida, Itron dispone de una amplia gama de soluciones para contadores, desde adaptadores para contadores mecánicos antiguos hasta los más modernos contadores por ultra-sonido, los cuales, además de una elevada precisión y seguridad anti-fraude, se caracterizan porque su sensor no se encuentra en contacto con el agua ni produce pérdidas de carga en la medida. Dispone también de detectores de fugas por ultra-sonido de bajo coste.

Los dispositivos de Itron pueden conectarse a diferentes tecnologías de acceso, entre las que se encuentran casi todas las descritas en el apartado 4 de este estudio.

La integración de las medidas leídas en la base de datos del cliente se puede realizar de diferentes mane-

18 www.suez.es.

19 www.itron.com.

ras, si bien Itron apuesta por una integración Cloud en una plataforma llamada Temetra²⁰, que es la puerta de entrada a una amplia gama de servicios, tanto para la operadora como para los clientes de la misma. Temetra es compatible con otros fabricantes de equipos y sistemas de tele-lectura.

Itron declara en su página web que hay más de 200 millones de dispositivos IoT integrados con su tecnología en todo el mundo (incluyendo *Smartgrid*, *Streetlighting*, *Water*, *Gas*...) y que, actualmente, da servicio a 64 millones de dispositivos en más de 1.000 operadores de aguas (datos de 2021).

Sensus.

Sensus²¹ proporciona un sistema integrado de *Smart Water* que combina medidores de agua inteligentes, sensores avanzados y herramientas software. Proporciona también herramientas inteligentes para reducción de costes, gestión de activos, mitigación de riesgos, captación de ingresos o servicio al cliente. La red de comunicación FlexNet[®] es su sistema de radio para soluciones de medición avanzada en ciudades inteligentes, incluyendo agua inteligente, energía, iluminación y gas. Sensus tiene una completa gama de productos, incluyendo contadores inteligentes y un sistema de tele-lectura que integran redes celulares y diferentes tecnologías radio.

En su página web indican que su solución AMI sirve a más de:

- 12 millones de puntos finales de agua,
- 7 millones de puntos finales de gas,
- 19 millones de contadores de electricidad,
- 14 millones de puntos finales de servicios públicos combinados,

lo que representa 600 millones de mensajes diarios a través de la red de comunicación FlexNet (datos de 2021).

²⁰ <https://en.temetra.com>

²¹ <https://sensus.com/internet-of-things/smart-water/>

Kamstrup.

Kamstrup²² es una empresa danesa de *Metering*, en el sector de agua, electricidad y calefacción. Tiene una amplia gama de contadores de agua y diferentes soluciones de tele-lectura que incluyen tecnologías NB-IoT, SigFox y LoRaWAN. Tiene una tecnología propia basada en una extensión de *Wireless MBUS* en 668 MHz llamada linkIQ[®]. Kamstrup tiene también una plataforma para la analítica de datos llamada *Water Intelligence*. Queremos destacar que linkIQ[®] es una tecnología propietaria.

Water Intelligence es una plataforma modular en la que los datos de medición se organizan, visualizan y analizan de forma automática para ofrecer una visión general y completa de la red de distribución y proporcionar la información necesaria para la detección de fugas, la reducción de la pérdida de agua y la gestión de incidencias.

²² <https://www.kamstrup.com>

8. Caso de operadora de aguas. Posibles estrategias.

El objetivo de este apartado es investigar las posibles soluciones de tele-lectura adecuadas para la operadora de aguas, en función de la composición de su parque de contadores (individuales o comunitarios, en batería o aislados...). Dicha investigación tendrá en cuenta la edad del parque y considerará la implantación de la tele-lectura en un solo paso o de manera paulatina.

8.1. Parque actual de contadores y su renovación.

En los siguientes apartados de este informe nos ceñiremos tan sólo a la fase de despliegue de la solución de tele-lectura (AMR), sin entrar en el impacto que la misma tiene sobre otras áreas de negocio de la empresa ni sobre su ecosistema.

Tomaremos como base de nuestra solución las tecnologías NB-IoT y LoRaWAN que, de acuerdo con las conclusiones derivadas en el apartado 4.9 de este estudio, representan, a día de hoy, las tecnologías más adecuadas para el *Smart Metering* de una operadora de aguas como la aquí considerada.

Año	Unidades	Contadores Individuales	En batería
<= 2022	6.819	4.426	2.393
2023	6.493	3.643	2.850
2024	10.901	8.431	2.470
2025	8.470	5.043	3.427
2026	12.090	6.243	5.847
2027	11.055	2.430	8.625
2028	19.375	6.692	12.683
2029	22.064	4.621	17.443
2030	10.567	3.647	6.920
2031	12.272	3.247	9.025
2032	10.541	4.287	6.254
2033	8.868	4.243	4.625
	139.515	56.953	82.562

Tipo de Instalación	Puntos de lectura	Número de contadores	Porcentaje del total
INDIVIDUALES	56.953	56.953	40,82%
BATERÍAS	34.029	82.562	59,18%

TOTAL **90.982** **139.515**

Figura 22. Parque de contadores del operador de aguas y puntos de lectura.

La Figura 22 presenta de forma resumida el parque de contadores de nuestra empresa por año de instalación y por puntos de lectura. Prácticamente, la totalidad de los contadores (el 99,1%) son electrónicos y disponen de una interfaz normalizada de la lectura digital.

Los contadores se renuevan actualmente cada 12 años para cumplir con la norma ICT/155/2020, que entró en vigor a los 8 meses de su publicación, según ICT/397/2020, BOE-A-2020-4901. La Figura 23 recoge esta información de manera gráfica.

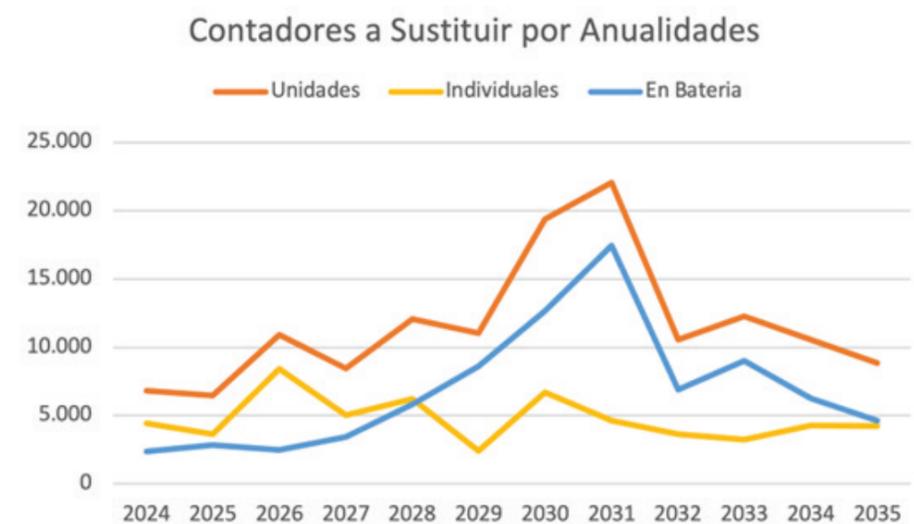


Figura 23. Sustitución de contadores previstas para los años 2024 a 2035, con distinción entre contadores individuales y contadores instalados en batería.

8.2. Estudio cuantitativo de tecnologías de tele-lectura.

En este apartado vamos a hacer un estudio cuantitativo del coste de implantación de las diferentes tecnologías de tele-lectura anteriormente descritas. Se considerarán los siguientes casos:

1. Solución LoRaWAN. Todos los contadores individuales y todas las baterías de contadores se dotan de un terminal inalámbrico externo con tecnología LoRaWAN, desplegando la red necesaria de concentradores (*gateways*) que esta tecnología requiere.
2. Solución NB-IoT. Todos los contadores individuales y todas las baterías de contadores se dotan de un terminal inalámbrico externo con tecnología NB-IoT. En este caso no es necesario desplegar concentradores.
3. Todos los contadores (tanto los individuales como conectados en batería) se dotan de tele-lectura integrada con NB-IoT (es decir, el terminal de comunicaciones está incluido en el contador y no es necesario un terminal externo de comunicaciones). No se hace distinción en este caso entre los contadores individuales y los que están en batería.
4. Solución mixta con LoRaWAN. Todos los contadores individuales son contadores con tele-lectura integrada por NB-IoT y cada batería de contadores se dota de un terminal externo inalámbrico LoRaWAN, desplegando la red necesaria de concentradores (*gateways*) que esta tecnología requiere.
5. Solución mixta con NB-IoT. Todos los contadores individuales son contadores con tele-lectura integrada por NB-IoT y cada batería de contadores se dota de un terminal externo inalámbrico NB-IoT. En este caso no es necesario desplegar concentradores.

El último caso considerado sería equivalente a la solución que proponen algunos fabricantes de contadores, mediante la cual bastaría con que uno de los contadores de una batería tuviera comunicación NB-IoT para que se pudiera realizar la tele-lectura de toda la batería. La decisión de adoptar un terminal externo independiente, en vez de un contador agregador de la batería, tiene una incidencia menor en el coste y permite independizar la lectura de una batería de contadores de la implementación específica que realiza cada fabricante, por lo que es la que se ha considerado aquí.

8.2.1. Datos de partida.

Como datos de partida se toman los costes unitarios de los respectivos elementos constitutivos del análisis:

- Costes unitarios de adquisición de terminales de tele-lectura (Figura 24).
- Costes unitarios de instalación de terminales de tele-lectura (Figura 24).
- Costes unitarios anuales de gestión, operación y mantenimiento de los terminales de tele-lectura (Figura 24).
- Costes unitarios de adquisición de *gateways* (para el caso de la tecnología LoRaWAN) (Figura 25).
- Costes unitarios de instalación de *gateways* (para el caso de la tecnología LoRaWAN) (Figura 25).
- Costes unitarios anuales de gestión, operación y mantenimiento de los *gateways* (para el caso de la tecnología LoRaWAN) (Figura 25).

- Coste unitario de las comunicaciones (en el caso de tecnología operada por NB-IoT) (Figura 27).
- Sobrecoste unitario de los contadores con tele-lectura integrada (NB-IoT) (Figura 27).
- Sobrecoste unitario de instalación de contadores con tele-lectura integrada (NB-IoT) (Figura 27).
- Sobrecoste anual de gestión, operación y mantenimiento de contadores con tele-lectura integrada (NB-IoT) (Figura 27).

Entendemos por sobrecoste al aumento de inversión o gasto anual que representa la adquisición, instalación, gestión, operación y mantenimiento de un contador en la solución planteada, respecto del que se requeriría efectuar para un contador normal de los empleados actualmente sin tele-lectura.

Unidades	Adquisición		Instalación		Gestión y mantenimiento (anual)	
	LoRa	NB-IoT	LoRa	NB-IoT	LoRa	NB-IoT
1.000	35,00	49,70	21,50	22,50	0,91	0,84
2.000	30,00	42,60	21,50	22,50	0,78	0,72
5.000	27,50	39,05	21,50	22,50	0,72	0,66
10.000	25,00	35,50	21,50	22,50	0,65	0,60
20.000	22,50	31,95	21,50	22,50	0,59	0,54
50.000	21,25	30,18	21,50	22,50	0,55	0,51
> 50.000	20,00	28,40	21,50	22,50	0,52	0,48

Figura 24. Costes unitarios asociados a los terminales de tele-lectura.

Unidades	Adquisición		Instalación		Gestión y mantenimiento (anual)	
	LoRa	NB-IoT	LoRa	NB-IoT	LoRa	NB-IoT
100	280,00	0,00	225,00	0,00	10,50	0,00
200	240,00	0,00	225,00	0,00	9,00	0,00
500	220,00	0,00	225,00	0,00	8,25	0,00
1.000	200,00	0,00	225,00	0,00	7,50	0,00
2.000	180,00	0,00	225,00	0,00	6,75	0,00
5.000	170,00	0,00	225,00	0,00	6,38	0,00
> 5.000	160,00	0,00	225,00	0,00	6,00	0,00

Figura 25. Costes unitarios asociados a los gateways.

Unidades	LoRa	NB-IoT
10.000	0,00	1,26
20.000	0,00	1,08
50.000	0,00	0,99
100.000	0,00	0,90
200000	0,00	0,81
500.000	0,00	0,77
> 500.000	0,00	0,72

Figura 26. Costes unitarios anuales asociados a las comunicaciones operadas (NB-IoT).

Unidades	Adquisición	Instalación	Gestión y Mantenimiento (anual)
1000	31,50	3,50	0,35
2000	27,00	3,50	0,30
5000	24,75	3,50	0,28
10000	22,50	3,50	0,25
20000	20,25	3,50	0,23
50000	19,13	3,50	0,21
50000	18,00	3,50	0,20

Figura 27. Sobrecostes unitarios asociados a los contadores con tele-lectura NB-IoT integrada (es decir, la diferencia de coste entre el contador con tele-lectura incluida y el mismo contador sin terminal de comunicaciones).

Otro dato de partida es la estimación del número medio de terminales de lectura LoRaWAN asociados a un *gateway*. En este punto debemos recordar que la solución LoRaWAN requiere el uso de concentradores. Se ha tomado un valor promedio de 80 terminales por *gateway*. Este número depende de muchas variables. Entre otras deberá tenerse en cuenta la calidad de los enlaces, el tipo de vivienda (unifamiliar dispersa, unifamiliar densa, bloques de pisos...), la localización del contador en la vivienda (fachada, interior), la existencia de barreras a la comunicación inalámbrica (pisos altos, parques, árboles...), etc.

Tendremos en cuenta en el estudio el número de contadores que deberán ser reemplazados en los próximos 12 años, de acuerdo con la Figura 22.

En el caso que empleemos terminales independientes de lectura de contadores (es decir, no integrados en el contador), y bajo las consideraciones anteriormente enunciadas, podemos admitir: que:

1. El tiempo de reposición de las baterías de estos terminales de lectura es también de 12 años tal como se discute en el apartado 4.6 de este estudio. Aun así, es posible que algunas localizaciones específicas (con mala cobertura o un número muy elevado de contadores conectados) pudieran requerir un tiempo de reposición inferior.
2. La reposición de terminales puede asumirse también con un ciclo mínimo de 12 años, aunque podría ser mayor, tal como se discute en el apartado 4.7 de este estudio.

De acuerdo con estas estimaciones podemos asumir que la inversión inicial para tele-lectura debería repetirse en periodos de 12 años, que es el mismo plazo de reposición de contadores.

8.2.2. Estudio de costes.

Realizamos dos tipos de análisis.

En el primero (CASO 1) se realiza un análisis de costes (inversión más gasto) para un despliegue completo de las soluciones de tele-lectura basada en terminales externos de comunicaciones, en un horizonte de 12 años. Se entiende que, en estas soluciones, se desplega un terminal de tele-lectura para cada contador individual y un único terminal de tele-lectura para las baterías de contadores. Este caso es de interés, ya que, mediante una simple regla de tres se pueden extrapolar los resultados para horizontes inferiores de tiempo (por ejemplo, para un despliegue completo en 4 u 8 años). Tan sólo cambiaría un poco el resultado final debido a un aumento en los costes de mantenimiento (y de comunicaciones en caso de emplear soluciones operadas como NB-IoT), pero las diferencias serían pequeñas.

Para este primer caso se considera una adquisición e instalación proporcional de los terminales externos de tele-lectura. Se ha considerado exclusivamente unas de las dos tecnologías de comunicaciones aquí seleccionadas: LoRaWAN y NB-IoT (pero no ambas mezcladas), dando lugar a 2 sub-casos (CASO1-LW y CASO 1-NB).

En el segundo tipo de análisis se ha considerado la sustitución de los contadores actuales por contadores con tele-lectura integrada, siguiendo el ritmo de sustitución que determina su vida útil (de acuerdo con la Figura 22 y la Figura 23), lo que llevaría a una implantación completa de la tele-lectura en 12 años.

En este segundo análisis se han considerado dos casos:

- CASO 2: Sustitución de todos los contadores por contadores individuales con tele-lectura integrada con terminal NB-IoT (no se ha considerado en este caso el empleo único de la tecnología LoRaWAN, aunque podría ser otra alternativa).
- CASO 3: Sustitución de los contadores individuales por contadores con tele-lectura integrada NB-IoT y de los contadores en baterías por contadores convencionales (como los que ahora se están instalando) más un terminal externo para toda la batería:
 - CASO 3-LW: con tecnología LoRaWAN que permite la tele-lectura de la batería.
 - CASO 3-NB: con tecnología NB-IoT que permite la tele-lectura de la batería.

En el caso 3 se asume que todos los contadores de una misma batería tienen la misma edad. Esta hipótesis podría no ser cierta, lo que conllevaría introducir el terminal externo de comunicaciones de la batería en el mismo momento en que se sustituye el primero de sus contadores. Esto complicaría mucho el análisis, afectando sobre todo a la distribución temporal del coste de la tele-lectura, más que al coste total, cuyo impacto sería menor.

Hemos de decir que, en el análisis de inversión más gastos que se realiza a continuación, se tiene en cuenta tan sólo el sobre coste (inversión más gasto) que las soluciones consideradas tienen respecto del coste que supondría el cambio estricto de contador exigido por la normativa vigente. De esta forma podemos apreciar el coste asociado exclusivamente a la tele-lectura.

Finalmente, en el caso de las baterías de contadores, no se ha tenido en cuenta un coste específico asociado a la interconexión de los contadores para formar la batería (ya sea cableada o inalámbrica), ya que esta operación se realiza actualmente y no representaría un sobre coste respecto al caso actual. También queremos indicar que en la comparación no se ha tenido en cuenta el coste de la lectura manual que se realiza actualmente, lo que disminuiría un poco los costes que se han obtenido.

8.2.3. Resultados del estudio.

La Figura 28 muestra la inversión total en tele-lectura, desagregada por conceptos, para los casos considerados en el estudio, que contemplan una implementación de la tele-lectura en 12 años.

A la vista de esta Figura 28 se observa que las soluciones mixtas (contadores individuales con NB-IoT integrada y baterías con un terminal externo único por batería, ya sea con tecnologías NB-IoT - CASO 3-NB o LoRaWAN, CASO 3-LW) son las más económicas, representando en ambos casos un coste total inferior en más de un 37% respecto de una solución totalmente NB-IoT con terminales externos (CASO 1-NB), y en más del 24% respecto a una solución en la que todos los contadores lleven integrado el terminal NB-IoT (CASO 2).

Aun cuando, de las dos soluciones mixtas, la más barata es la solución con LoRaWAN en los terminales externos de las baterías (CASO 3-LW), la diferencia respecto de la que también usa NB-IoT en las baterías (CASO 3-NB) es pequeña (algo superior al 5%). Esta diferencia puede compensar el esfuerzo adicional de disponer de dos estándares de comunicaciones distintos, uno de los cuales requiere mantener una infraestructura propia de gateways.

	Contadores Individuales con un terminal de comunicaciones externo y batería de contadores con un único terminal externo por batería.		Todos los contadores con tele-lectura integrada NB-IoT (CASO 2).	Contadores Individuales con tele-lectura integrada NB-IoT, y baterías de contadores con un único terminal de externo por batería.	
	LoRaWAN (CASO 1-LW).	NB-IoT (CASO 1-NB).		LoRaWAN (CASO 3-LW).	NB-IoT CASO 3-NB).
Terminls/Condrs: Adquisición.	1.561.520	2.217.358	2.511.270	1.474.018	1.662.541
Terminls/Condrs: Instalación.	1.678.634	1.756.710	488.303	653.480	674.603
Terminls/Condrs: Gest. y Mant.	263.897	243.597	169.640	142.782	137.803
Gateways: Adquisición.	195.190	0	0	73.931	0
Gateways: Instalación	219.589	0	0	59.408	0
Gateways: Gestión y Mant.	66.609	0	0	15.378	0
Comunicaciones.	0	365.396	610.704	280.972	370.605
TOTAL	3.985.438	4.583.061	3.779.917	2.699.969	2.845.551

Figura 28. Estimación de la Inversión más gastos totales asociados a la tele-lectura por diferentes conceptos, en cinco casos considerados en el estudio. La implementación de la tele-lectura se realiza en 12 años.

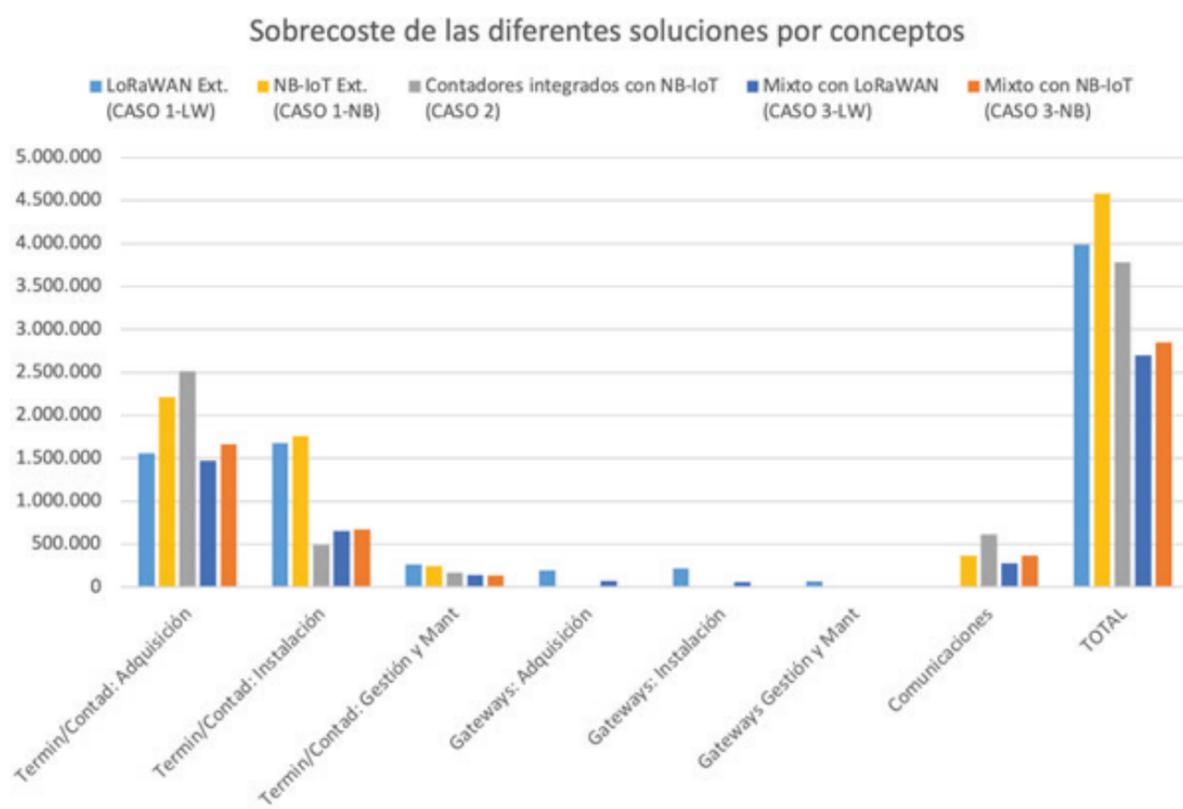


Figura 29. Sobrecoste (inversión + gasto) por conceptos de los diferentes casos de implantación de tele-lectura en 12 años, considerados en este estudio.

La Figura 29 muestra de forma gráfica los resultados de la Figura 28, agrupando los costes por conceptos de inversión/gasto. Se puede observar que, en todos los casos, el mayor coste procede de la inversión a realizar en la adquisición de terminales y/o sobrecoste de los nuevos contadores. Este coste es especialmente elevado en el caso de una solución en que todos los contadores se reemplazan por contadores con tele-lectura NB-IoT integrada (CASO 2). También es éste el concepto principal, aunque en menor medida, para las soluciones que emplean terminales externos NB-IoT (CASO 1-NB) y LoRaWAN (CASO 1-LW). El siguiente elemento significativo es el coste de las comunicaciones operadas (necesario para soluciones que incluyen NB-IoT) y el de a los gateways de las soluciones LoRaWAN, sobre todo en el CASO 1-LW.

La distribución temporal de esta inversión se muestra en la Figura 30, en donde se ha supuesto que la introducción de la tele-lectura para los casos de solución toda LoRaWAN o toda NB-IoT se realiza de una manera proporcional en el

tiempo. En este caso, los incrementos de coste con el tiempo se deben a los costes de gestión y mantenimiento y al coste las comunicaciones operadas (en su caso), que crecen a medida que aumenta el número de dispositivos instalados, lo que se hace especialmente patente en el caso de la solución todo NB-IoT.

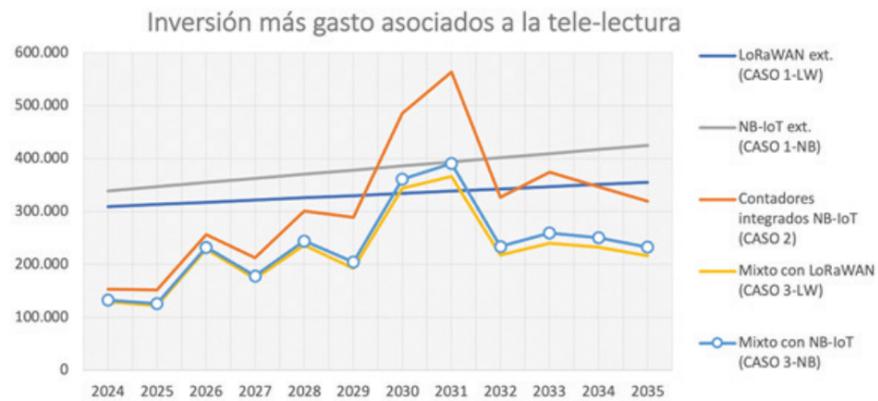


Figura 30. Distribución anual de la inversión más gastos asociados a la tele-lectura en el periodo 2022-2033 según los diferentes casos previstos en el estudio.

Para entender cómo se distribuye los gastos a realizar entre sus diferentes conceptos, en la Figura 31 se muestra la distribución de la inversión más gasto a realizar entre sus diferentes partidas, en los cinco casos considerados, para el despliegue en 12 años. Se pone de manifiesto en la figura la importancia del coste de las comunicaciones en el caso de incorporar tecnología NB-IoT.

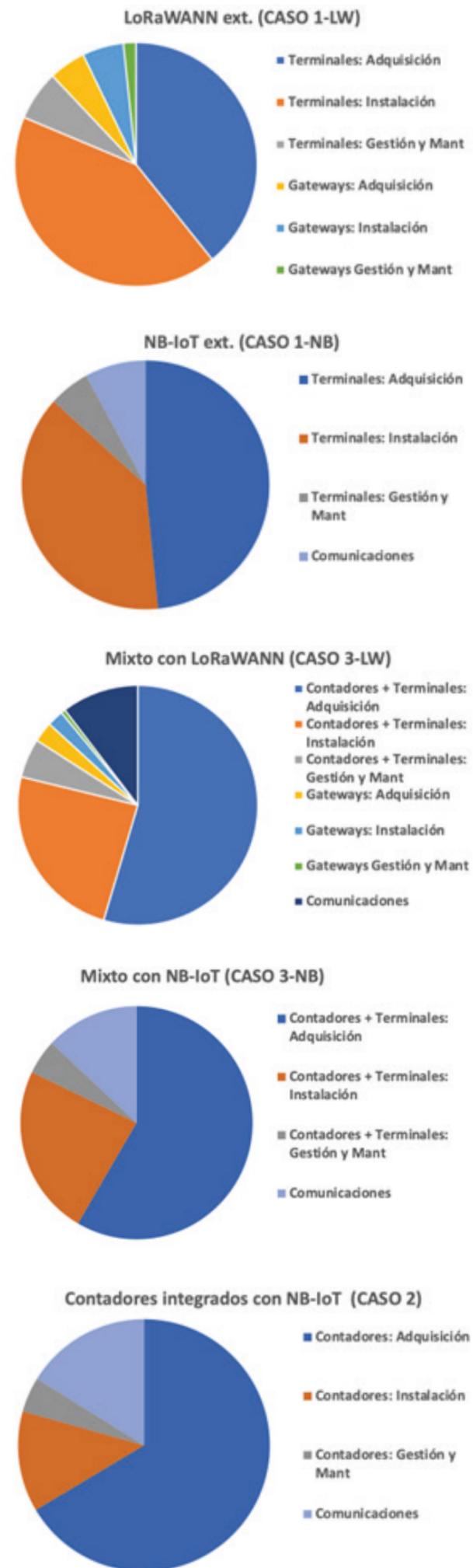


Figura 31. Proporción de la inversión y gasto asociados a la tele-lectura en sus diferentes conceptos para los cinco casos considerados en el estudio.

8.2.4. Propuesta de implantación con elevada cobertura inicial, bajo coste, con inversión distribuida en el tiempo.

Hemos podido constatar que el menor coste asociado a la tele-lectura se produce para las soluciones mixtas de tele-lectura: contadores individuales con NB-IoT y baterías con un único terminal de comunicaciones, que hemos denominado CASO 3. De las dos variantes (terminales de batería con NB-IoT o con LoraWAN), vamos a escoger la primera, ya que, a pesar de su mayor coste, evitamos una duplicidad de tecnologías. En cualquier caso, la diferencia en coste entre las dos variantes es pequeña.

Vamos a proponer ahora una modificación en la estrategia de implantación del CASO 3-NB, con vistas a aumentar el número de contadores cubiertos por la tele-lectura en las fases iniciales de despliegue.

Para ello, manteniendo el ritmo natural de sustitución de los contadores por razón de su edad, hemos acelerado la implantación de los terminales externos de comunicaciones de las baterías, que se montarían todos ellos en los 4 primeros años del despliegue, a costa de adelantar las inversiones. Este marco puede ser de interés cuando, por ejemplo, las inversiones de los cuatro primeros años se encuentran subvencionadas.

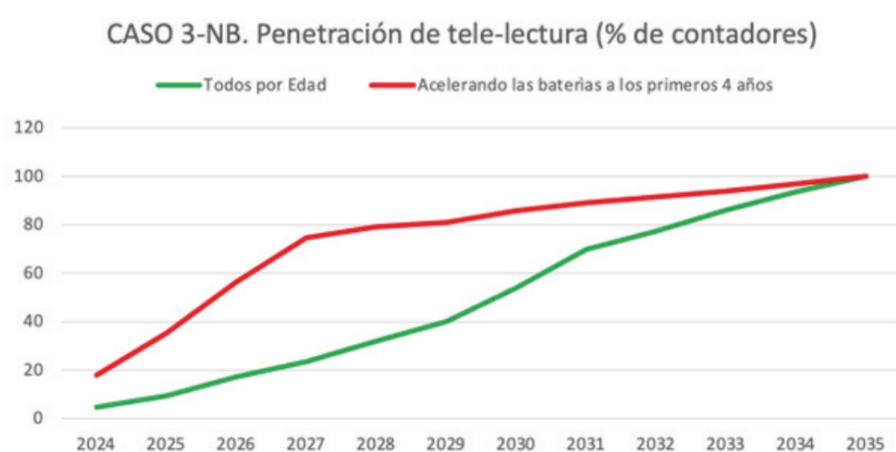


Figura 32. Grado de penetración de la tele-lectura (en porcentaje de contadores tele-medidos), para el CASO 3-NB, con dos tipos de implantación: “Todos por edad” y “Acelerando las baterías a los primeros cuatro años”.

La Figura 32 compara el grado de cobertura de la tele-lectura que se conseguiría con ambos modelos de implantación del CASO 3-NB. A destacar que, el caso que acelera la implantación de los terminales de comunicaciones de las baterías a los cuatro primeros años consigue alcanzar, al finalizar ese periodo, casi el 80% de los contadores del parque, frente al poco más del 20% que se conseguiría con una implantación que atendiera tan sólo a razones de edad.

	CASO 3-NB Todos por edad	CASO 3-NB Acelerando las baterías a los 4 primeros años
Contadores + Terminales: Adquisición	1.662.541	1.662.541
Contadores + Terminales: Instalación	674.603	674.603
Contadores + Terminales: Gestión y Mant	137.803	191.161
Comunicaciones	370.605	450.643
TOTAL	2.845.551	2.978.948

Figura 33. Costes totales por conceptos para el CASO 3-NB, con dos tipos de implantación: “Todos por edad” y “Acelerando las baterías a los primeros cuatro años”.

El coste de ambas implantaciones es prácticamente el mismo (Figura 33), si descontamos el mayor uso de las comunicaciones que se realiza en el caso de adelantar la implantación de los terminales de comunicaciones de las baterías. La diferencia, en cualquier caso, es pequeña.

Lo que sí cambia de manera significativa es la distribución temporal del coste de ambas implementaciones. La Figura 34 muestra claramente el adelanto de la inversión que se realiza cuando se adelanta la implantación de los terminales de comunicaciones de las baterías.

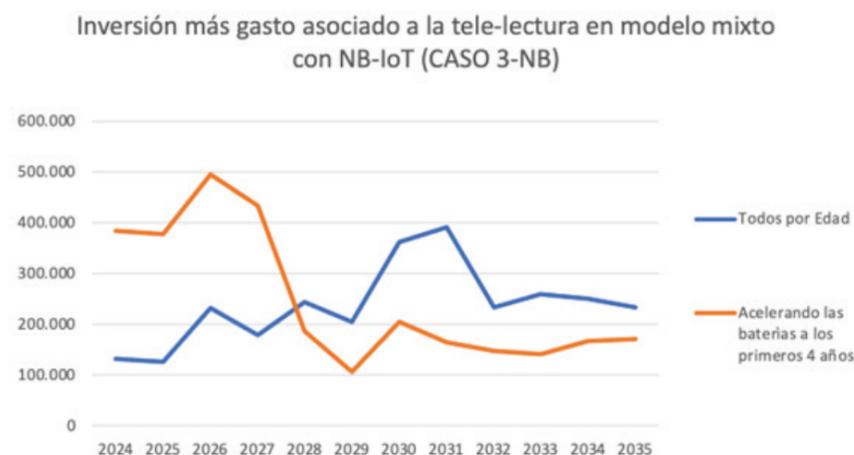


Figura 34. Distribución anual de la Inversión más gastos asociados a la tele-lectura en el periodo 2024-2035 para el CASO 3-NB, con dos tipos de implantación: “Todos por Edad” y “Acelerando las Baterías a los primeros cuatro años”.

8.2.5. Otros costes no considerados en el estudio.

En el estudio no se han tenido en cuenta los costes (inversión y gastos) relacionados con la integración de los datos en las plataformas de gestión y operación del operador de aguas. La Figura 35 muestra una estimación inicial. Este coste habría que añadirse a todas las soluciones consideradas anteriormente.

Se consideran en esta valoración tan sólo los costes de adquisición de plataforma, pre-procesamiento (limpieza y curación) de los datos y almacenamiento de la información, así como los correspondientes a la gestión y operación de los terminales inalámbricos. También se incluyen las transformaciones de datos necesarias para que los sistemas de gestión y facturación actuales del operador puedan sustituir las lecturas manuales por los datos de la tele-lectura. No se incluye el coste de las herramientas propias (o desarrollos internos) que permiten obtener ventajas añadidas de la tele-lectura, tales como previsión de demanda, perfilado de clientes, balance hídrico o gestión de fugas.

Costes de integración de Datos	Mínimo	Máximo
Plataforma de Integración de Datos	150.000	250.000
Actualización y Ampliación de Hardware	80.000	100.000
Mejoras de Infraestructura	25.000	50.000
Total Costes Integración de Datos	255.000	400.000

Figura 35. Estimación de costes de Integración de datos.

8.3. Estudios de los diferentes modelos de transformación.

8.3.1. Transformación con Modelo 1. AMR totalmente propietario.

Consideraremos el escenario denominado “Modelo 1. AMR totalmente propietario” definido en el apartado 5.4 de este estudio. En este modelo, el operador de aguas es propietaria de los terminales de tele-lectura. Consideraremos además que

1. Los terminales de comunicación no están integrados en el contador (a fin de evitar servidumbre tecnológica con el fabricante), o estando integrados, a través de módulos de comunicación disponen de una eSIM que les permite conectarse a diferentes operadores de telecomunicación, sin intervención del fabricante de contadores.
2. La empresa ganadora del concurso es responsable del mantenimiento de los terminales y de proporcionar las actualizaciones de *firmware* necesarias.
3. Negociamos directamente con el operador (u operadores) las tarifas anuales de uso de la red.
4. Se hacen 24 conexiones al día reportando medidas de consumo horario.
5. El suministro, instalación, mantenimiento y reposición de los terminales de tele-lectura se hace de manera independiente al de los contadores.

Los análisis de costes realizados en el apartado 7.2 (especialmente el que hace referencia a la solución todo LoRaWAN) son de aplicación directa a este modelo.

Dada la elevada inversión que supone la transformación, sería conveniente realizarla de una manera gradual, de la misma manera que se hace en el caso de los contadores. Esto tiene sus inconvenientes:

1. coexistirían las lecturas semi-automáticas actuales con la tele-lectura hasta el final del periodo de adaptación, y;
2. las ventajas de la tele-lectura no serían totalmente operativas hasta el final del periodo de adaptación, aunque una selección inteligente de los puntos iniciales de tele-lectura podría conseguir un elevado porcentaje del balance hídrico priorizando, por ejemplo, la transformación de las baterías de contadores.

8.3.2. Transformación con Modelo 2. Comunicaciones como servicio.

Este modelo se describe en el apartado 5.5 de este estudio. El operador de aguas fija la tecnología y las características generales de tele-lectura (número y tipo de lecturas, interfaces de contadores e interfaces con el servidor de datos, requisitos de instalación y sustitución, tanto de baterías como de terminales), pero la propiedad, gestión y operación de los terminales es responsabilidad de la empresa adjudicataria.

En este modelo los riesgos derivados de la instalación, gestión y operación de la red de comunicaciones corren a cargo del adjudicatario. Igualmente, los costes anuales de mantenimiento del servicio de comunicaciones quedarían incluidos en el coste del servicio.

Los costes calculados en el apartado 7.2 de este

estudio constituyen una buena referencia para este modelo, pero es difícil aventurar cuáles serían los costes que ofertaría cada licitador dado que a un concurso de este tipo concurrirían empresas especializadas en IoT, incluyendo operadores de telecomunicación, que pueden jugar con los márgenes comerciales de uso de la red y con la economía de escala, al gestionar otros grandes contratos.

8.3.3. Transformación con Modelo 3. Metering como servicio.

Este modelo se describe en el apartado 5.6 de este estudio. El operador de aguas fija la tecnología y las características generales de las lecturas (número y tipo de lecturas, precisión de las medidas y del contador, interfaces con el servidor de datos, requisitos de instalación y sustitución, de equipos y baterías), pero la propiedad, y la gestión y operación, tanto de los contadores, como de los terminales, es responsabilidad de la empresa adjudicataria.

En este modelo los riesgos derivados de la instalación, gestión y operación, tanto de los contadores como de la red de comunicaciones corren a cargo del adjudicatario. Igualmente, los costes anuales de mantenimiento del servicio de comunicaciones quedarían incluidos en el coste del servicio.

Éste es el modelo deseado por las compañías de contadores, que empiezan a presentar contadores NB-IoT con lectura remota en modelo SaaS (*Software as a Service*). En este modelo, los datos se recogen en una plataforma del fabricante, desde la cual la operadora se descarga las lecturas.

Como ejemplo, podemos citar la plataforma de Neodoo (<https://blog.neodoo.es/2019/12/05/contazara-despliega-su-plataforma-de-telelectura-nb-iot-en-aws/>). Para la estructura de costes de este modelo pueden servir de referencia los casos de todos los contadores con tele-lectura integrada y los casos mixtos considerados en el estudio de costes del apartado 7.2 de este estudio,

pero es difícil estimar el coste del servicio que pudiera cargar un licitador.

8.3.4. Comparación cuantitativa de modelos de tele-lectura.

A falta de un modelo más detallado de costes para los Modelos 2 y 3, la Figura 36 resume de manera cualitativa las ventajas e inconvenientes de los modelos de tele-lectura.

A pesar de las ventajas de un menor coste inicial que presenta el Modelo 3, la excesiva dependencia tecnológica con el fabricante de contadores, que incluye al almacenamiento de todos los datos de tele-lectura en sus servidores y la carencia de un portfolio suficiente de proveedores de este tipo de servicios, desaconseja, por ahora, el uso de este modelo.

El Modelo 1 presenta unos costes anuales potencialmente inferiores a los del Modelo 2, aun cuando en este segundo caben otros factores como la economía de escala, compartición de riesgos, financiación de la inversión inicial, etc. que habría que estudiar con más detalle.

El Modelo 1 convierte a la operadora en su propia operadora de telecomunicaciones, obligándola a hacer una gestión de la red y de los terminales, incluyendo la servidumbre derivada de un contrato de prestación de servicios de uso de la red NB-IoT con un operador a largo plazo (salvo que se implemente la opción eSIM).

La posición de la operadora resulta también incómoda por la interacción que mantiene tanto con el fabricante de los equipos de telecomunicación como con el operador de red, lo que redunda en una dilución de responsabilidades. Pongamos dos ejemplos:

- Un terminal cuya cobertura NB-IoT pasa de buena a mala por una condición sobrevenida (por ejemplo, la construcción de un edificio que oculta al terminal). El terminal deja de enviar datos o las baterías se agotan más rápido de lo previsto.

- Un agujero de seguridad obliga a un cambio en el *firmware* de los terminales que obliga a una actualización en el aire. Esto produce un agotamiento prematuro de las baterías. Incluso un número pequeño de terminales pueden requerir una actualización a mano.

En ambos casos, no es fácil determinar cuál es la entidad responsable y, por tanto, quién debe hacerse cargo de los costes asociados.

Todos estos problemas desaparecen en el Modelo 2, en donde es siempre el adjudicatario el responsable de mantener y actualizar la red de comunicaciones. Por ello, a la vista de la Figura 36, se recomienda estudiar el Modelo 2 en mayor detalle, haciendo una exploración con diferentes proveedores de soluciones IoT, con proveedoras de servicios AMR y AMI (no sólo en el sector de agua, sino también en electricidad y gas) y con operadores de telecomunicación.

	Modelo 1	Modelo 2	Modelo 3
Coste Inicial.	Medio.	Medio.	Bajo (incluye el contador y el módulo de comunicaciones).
Coste anual (adjudicatario).	Bajo.	Medio.	Alto.
Coste anual (interno).	Alto.	Bajo.	Bajo.
Gestión de las comunicaciones.	Operador.	Adjudicatario.	Adjudicatario.
Gestión de los terminales.	Operador.	Adjudicatario.	Adjudicatario.
Mantenimiento de terminales.	Adjudicatario bajo demanda de la operadora por incidencias.	Adjudicatario.	Adjudicatario.
Reposición de baterías y terminales.	Adjudicatario: 1) de manera programada y 2) a demanda de la operadora por incidencias.	Adjudicatario.	Adjudicatario.
Servidumbre de la operadora con un operador.	A través de la SIM (dependencia con eSIM). Necesidad de firmar acuerdos a largo plazo.	No. Es responsabilidad del adjudicatario.	No. Es responsabilidad del adjudicatario.
Servidumbre de la operadora con un fabricante.	No.	No.	Sí. Con el fabricante de los contadores.
Garantía en la privacidad de los datos.	Sí.	Sí.	Sólo bajo cláusulas de confidencialidad. El fabricante ofrece a la operadora los datos desde una plataforma propia.
Integración directa con herramientas de datos.	No. Haciendo las transformaciones correspondientes.	No. Haciendo las transformaciones correspondientes.	Sí. Con las herramientas del fabricante de contadores.

Figura 36. Comparativa de modelos de tele-lectura desde el punto de vista de la operadora de aguas y del adjudicatario de la licitación del servicio correspondiente al modelo seleccionado.

9. Casos de uso de datos de tele-lectura.

La tele-lectura proporciona una elevada cantidad de datos cuya utilidad no termina en la facturación del cliente, sino que tiene numerosos aspectos que proporcionan un elevado valor añadido a las empresas de gestión de aguas. Podemos clasificar los casos de uso en 5 tipos:

1. Previsión de la demanda de agua.
2. Análisis socioeconómicos (económicos, sociodemográficos, físicos, tecnológicos, climáticos, ...).
3. Análisis de comportamiento (segmentación de clientes, perfiles de consumo, perfiles de clientes, detección y perfilado de hábitos de consumos, ...).
4. Categorización de eventos de agua (pérdidas, categorización del uso final del agua, detección de eventos para la protección y el aprovechamiento de los recursos y las infraestructuras, ...).
5. Realimentación al usuario.

En este apartado estudiaremos el estado del arte y consideramos, en cada caso, las herramientas de análisis basadas en *Data Mining* y *Machine Learning*.

9.1. Estado del arte.

Según datos de la AEAS (Asociación Española de Abastecimiento y Saneamiento), en España el parque de contadores de agua potable es de aproximadamente 21,6 millones de contadores²³, de los cuales un 16,4% se gestionan con tele-lectura, llegando este porcentaje a un 19,2% en las áreas metropolitanas. Esta tasa de penetración crece a una elevada tasa. Los estudios de mercado (anteriores al COVID-19) preveían una tasa de aumento de los sistemas de AMR/AMI del 10% anual en Europa.

En cuanto al uso que las operadoras hacen de estos datos, y a pesar de ser conscientes de la potencialidad de las herramientas de *Data Analytics* (Analítica de Datos - DA) para la operación y gestión, un estudio de 2016 señala que menos de la mitad de las empresas emplean los datos de tele-lectura para algo más que la facturación²⁴.

De acuerdo con la bibliografía científica la investigación llevada a cabo en estos últimos años en diferentes sectores muestra un interés preferente en el uso de técnicas de *Machine Learning* (Aprendizaje Máquina - ML) y *Data Analytics* en tres aspectos [Rahi:2020]²⁵: previsión de la demanda, análisis del comportamiento y detección de fugas, aun cuando también aparecen otros aspectos como: la realimentación al consumidor y el análisis socioeconómico.

En cuanto a las pérdidas, éstas han sido tradicionalmente estimadas mediante una combinación de equipos especiales (sensores acústicos principalmente) y habilidades humanas (incluyendo medidas en la red en los periodos de mínimo consumo). Sin embargo, los avances producidos en el modelado numérico de las redes de agua hacen ahora posible detectar tuberías potencialmente defectuosas, siempre que el modelo cuente con un conjunto suficientes de datos (no sólo consumos, sino también presiones y caudales).

Los algoritmos numéricos de detección de fugas pretenden detectar ciertos patrones espacio-temporales y ciertas anomalías en los parámetros de flujo y caudal en diferentes puntos de la red de distribución. De esos patrones extraen información acerca de pérdidas físicas y comerciales.

En cuanto a las previsiones de demanda, éstas se basan tradicionalmente en la extrapolación de la evolución de:

- los consumos históricos en fechas similares (para la previsión a corto plazo), ajustados con valores empíricos que dependen de las condiciones climáticas y particularizadas para el caso de eventos singulares (fiestas, eventos deportivos, ...), en el caso de previsión a corto plazo, y;
- los consumos agregados, incluyendo parámetros socioeconómicos, para la previsión a medio y largo plazo.

Las técnicas de Inteligencia Artificial (IA) y de *Machine Learning* (ML) en el contexto de las operadoras de aguas son especialmente útiles para el *decision-making*, es decir, para ayudar a las empresas a rentabilizar los datos y la información disponible, para mejorar el servicio de suministro, optimizar la inversión de capital (CAPEX) y reducir los costes de operación (OPEX), incluyendo las responsabilidades sociales y medioambientales. Desde este punto de vista, las operadoras de aguas están siguiendo los pasos que se han dado con anterioridad en otros sectores, especialmente el energético.

²³ XVI Estudio Nacional de Suministro de Agua Potable y Saneamiento en España 2020. <https://www.asoaeas.com/?q=node/44>.

²⁴ <https://www.westmonroepartners.com/perspectives/signature-research/state-of-advanced-Metering-infrastructure-ami>.

²⁵ [Rah:2020] Md Sh. Rahim, Khoi A. Nguyen, R.A. Stewart, D. Giurco and M. Blumenstein, "Machine Learning and Data Analytic Techniques in Digital Water Metering: A Review," *Water* 2020, 12, 294, doi:10.3390/w12010294.

9.1.1. Modelo hidráulico.

Los modelos actuales de construcción de modelos hidráulicos emplean herramientas estadísticas (incluyendo estimación de estado y análisis de sensibilidad) para obtener mediante leyes físicas, como la de conservación de masas y de momentos, un modelo digital (*digital twin*) de la red de distribución (que denominaremos modelo hidráulico 1.0), que se contrasta con los datos obtenidos en tiempo real. Este modelo físico no precisa de técnicas de IA y es adecuado para reproducir el comportamiento estacionario de la red [Jung:2018]²⁶, [Vrac:2018]²⁷, [Diaz:2016]²⁸, [Asga:2016]²⁹, [Pere:2011]³⁰.

Por el contrario, los modelos dirigidos por datos (Figura 37), que denominaremos modelo hidráulico 2.0, hacen un empleo exhaustivo de las técnicas de AI y ML (incluyendo redes neuronales, *deep learning*, SVM, árboles de clasificación, sistemas neuro-borrosos, etc.), que, una vez entrenados, son capaces de detectar comportamientos anómalos, sin ayuda de ecuaciones, e incluso de predecir comportamientos futuros (usando series temporales) [Moun:2015]³¹, [Can-



Figura 37. Componentes principales de un sistema de análisis de red incluyendo modelos hidráulicos basados en datos.

t:2020]³², [Li:2015]³³, [Yu:2017]³⁴.

Si bien los modelos físicos parecen, a primera vista, más adecuados para la detección de fugas, ya que se basan en leyes físicas, estos modelos hacen simplificaciones que desprecian la naturaleza compleja de los fenómenos hidráulicos, tales como el comportamiento humano, condicionado por factores exógenos como cambios climáticos y socioeconómicos que determinan los consumos de agua, las conexiones ilegales, las respuestas sociales frente a incidencias, etc. A esto tenemos que añadir los procesos de interacción suelo-agua, el comportamiento de las tuberías y las cargas externas. Cuando todo esto se tiene en cuenta, es cuando los modelos basados en datos e IA pueden proporcionar beneficios adicionales a los resultados obtenidos con los modelos físicos.

26 [Jung:2018] D. Jung and J. H. Kim, "State Estimation Network Design for Water Distribution Systems," *Journal of Water Resources Planning and Management*. 144 (1), 2018, DOI: 10.1061/(ASCE)WR.1943-5452.0000862.

27 [Vrac:2018] S. G. Vrachimis, D. G. Eliades, and M. M. Polycarpou, "Real-time Hydraulic Interval State Estimation for Water Transport Networks: A Case Study," *Drinking Water Engineering and Science*. 11 (1), pp. 19–24, 2018. doi:10.5194/dwes-11-19-2018.

28 [Diaz:2016] S. Díaz, J. González, and R. Mínguez, "Uncertainty Evaluation for Constrained State Estimation in Water Distribution Systems," *Journal of Water Resources Planning and Management*. 142 (12), 2016. doi: 10.1061/(ASCE)WR.1943-5452.0000718.

29 [Asga:2016] H. R. Asgari and M. F. Maghrebi, "Application of Nodal Pressure Measurements in Leak Detection," *Flow Measurement and Instrumentation*. 50. pp. 128–134, 2016. doi: 10.1016/j.flowmeasinst.2016.06.009.

30 [Pere:2011] R. Pérez, V. Puig, J. Pascual, J. Quevedo, E. Landeros, and A. Peralta, "Methodology for Leakage Isolation Using Pressure Sensitivity Analysis in Water Distribution Networks," *Control Engineering Practice*. 19 (10), 2011. doi: 10.1016/j.conengprac.2011.06.004.

31 [Moun:2015] S.R.Mouncea C.Pedrazab T.Jacksonc P.Linfordd, and J.B.Boxalla, "Cloud-Based Machine Learning Approaches for Leakage Assessment and Management in Smart Water Networks," *Procedia Engineering*, 119 (1) 43–52, 2015. doi: 10.1016/j.proeng.2015.08.851.

32 [Cant:2020] W. P. Cantos, I. Juran, and S. Tinelli. 2020. Machine-Learning-Based Risk Assessment Method for Leak Detection and Geolocation in a Water Distribution System. *Journal of Infrastructure Systems*. 26 (1), 2020.

33 [Li:2015] Ri Li, H: Huang, K. Xin, and T. Tao, "A Review of Methods for Burst/Leakage Detection and Location in Water Distribution Systems," *Water Science and Technology: Water Supply*, 2 (3) pp. 429–441, 2015. doi:10.2166/ws.2014.131.

34 [Wu:2017] Y. Wu and S. Liu, "A Review of Data-Driven Approaches for Burst Detection in Water Distribution Systems," *Urban Water Journal*. 14 (9). pp. 972–983, 2017. doi: 10.1080/1573062X.2017.1279191.

9.2. Infraestructura de datos.

Las operadoras de aguas mantienen, en la mayor parte de los casos, una infraestructura de datos clásica basada en el uso de servidores locales. La introducción de la tele-lectura supone el salto hacia una estructura de recolección, almacenamiento y procesado de datos típica de los sistemas AMI. Las plataformas de gestión convencionales no son capaces de admitir la enorme cantidad de datos que se recibe de los terminales de tele-lectura, sobre todo si se pretende obtener el máximo rendimiento de los mismos. La detección temprana de fugas, el perfilado de clientes, la gestión de políticas tarifarias por tramos horarios, etc. requiere un elevado número de medidas horarias por cada contador. El almacenamiento de estos datos desborda las capacidades de los centros actuales y requiere de servicios en la nube. El procesamiento de esa información no puede realizarse con herramientas convencionales, haciendo necesario el uso bases de datos no relacionales y técnicas de Big Data. Finalmente, las técnicas de Analítica de Datos, basadas en IA y ML, son muy intensivas, tanto en almacenamiento dinámico como en tiempos de CPU, y requieren un aumento significativo de la infraestructura de computación.

9.2.1. Captación de integración de datos: Plataforma IoT.

A diferencia del sistema convencional en el que los datos de lectura se adquieren de forma externa y se integran de ficheros de lecturas (adquiridos normalmente por un terminal móvil), la tele-lectura introduce la necesidad de contar con una plataforma de recolección de datos, típica de la IoT. Cuando comparamos con el modelo tradicional, nos encontramos con varios elementos diferenciadores.

El primer elemento diferenciador es la capacidad de recolección de datos de la tele-lectura en tiempo real. Esto es un requisito de las técnicas de operación del sistema que no proporcionan las herramientas convencionales.

El segundo elemento diferenciador surge de la necesidad de gestionar la propia red de recolección de datos, es decir, los terminales de tele-lectura y sus enlaces.

- Los terminales de lectura deben estar correctamente registrados (localización, tipo, versión, fecha de instalación, tipo de baterías y fecha de sustitución...), mantenidos (versión de software, actualizaciones, registros de incidencias...) y gestionados (estado de funcionamiento, estado de las baterías, calidad del enlace...). Igualmente, deben incluirse las herramientas necesarias para la gestión de las operaciones de instalación, mantenimiento y actualización de los mismos.
- En cuanto a los enlaces, es necesario disponer de herramientas que gestionen su operación (especialmente en el caso en que estemos empleando una red de comunicaciones propia, diferentes tecnologías de acceso y/o diferentes operadoras), así como automatizar el proceso de gestión de red y la interacción con los proveedores de servicios. En este punto hay que destacar la importancia de la seguridad en las comunicaciones.

El tercer elemento diferenciador está relacionado con el almacenamiento de datos. Si bien para el caso de la tele-lectura de aguas sería aún posible pensar, en sus pasos iniciales, en mantener las bases de datos actuales convenientemente escaladas, las plataformas de IoT que requiere un sistema AMI deben tener capacidad para gestionar el almacenamiento de una enorme cantidad de datos, incluyendo registros de históricos, empleando técnicas de *Big Data* y almacenamiento en la nube.

El cuarto elemento diferenciador surge de la necesidad de pre-procesar la información recibida. La plataforma de IoT debe ser capaz de reconocer y gestionar periodos de ausencia de datos, duplicidad de datos, datos erróneos, etc. También debe tener capacidad de detectar y gestionar eventos, tanto simples (desborde de límites, ausencia de lectura, etc.) como complejos (es decir, una combinación adecuada de eventos simples o complejos en uno o más registros de datos) y mantener bases de datos de históricos.

Aun cuando en el caso de las operadoras de aguas son los datos de tele-lectura los que focalizan la actividad de la plataforma de IoT, ésta debe tener también capacidad para integrar otros datos, de diferentes tipos y procedentes de otras fuentes, tales como datos meteorológicos, planos y manuales de despliegue, localización e instalación, información geográfica, etc. Estos datos son de utilidad para la operación y gestión del sistema y se necesitan para las herramientas de Analítica de Datos. También deben gestionar, a través de conectores, bases de datos externas, como las procedentes de servicios GIS, servicios de atención al cliente, etc.

En cuanto a los servicios y aplicaciones que emplean estos datos, las plataformas de IoT permiten, tanto su despliegue en las capas superiores de la plataforma, como su integración en otras plataformas de servicios y aplicaciones a través de conectores que proporcionan los servicios de acceso a la base de datos en tiempo real.

La plataforma IoT tiene asimismo herramientas para la interacción con los usuarios (identificación y administración, búsquedas, *reporting*, *messaging*, visualización inteligente, gestión de alarmas, etc.), así como sus propios mecanismos de seguridad, tanto en el acceso a la plataforma y en el uso de sus servicios, como en la gestión interna de datos.

Finalmente es necesario contar con las herramientas necesarias para la instalación, gestión, mantenimiento y actualización de la propia plataforma.

9.2.2. Almacenamiento y procesamiento *Big Data* en aplicaciones AMI.

Big Data no es sólo una gran cantidad de conjuntos de datos. Gardner lo definió en 2001 como “datos que contienen mayor variedad y que presentan volúmenes crecientes a una velocidad superior”. A pesar de formularse esta definición en 2001, sigue siendo la definición de referencia, haciendo hincapié en las 3 “Vs” del *Big Data*:

- **Volumen:** La cantidad de datos importa. Con *Big Data*, hay que procesar grandes volúmenes de datos no estructurados de baja densidad. Para algunas organizaciones, esto puede suponer decenas de terabytes de datos. Para otras, incluso cientos de *petabytes*.
- **Velocidad:** La velocidad es el ritmo al que se reciben los datos y (posiblemente) al que se aplica alguna acción. La mayor velocidad de los datos normalmente se transmite directamente a la memoria, en vez de escribirse en un disco. Además, algunos productos inteligentes habilitados para Internet funcionan en tiempo real o prácticamente en tiempo real y requieren una evaluación y actuación en tiempo real.
- **Variedad:** La variedad hace referencia a los diversos tipos de datos disponibles. Con el auge del *Big Data*, los datos se presentan en nuevos tipos no estructurados o semiestructurados, como el texto, audio o vídeo, que requieren un pre-procesamiento adicional para extraer su significado y habilitar los metadatos.

A estas tres, se añade recientemente una cuarta “V”:

- **Veracidad** para garantizar la fiabilidad de los datos.

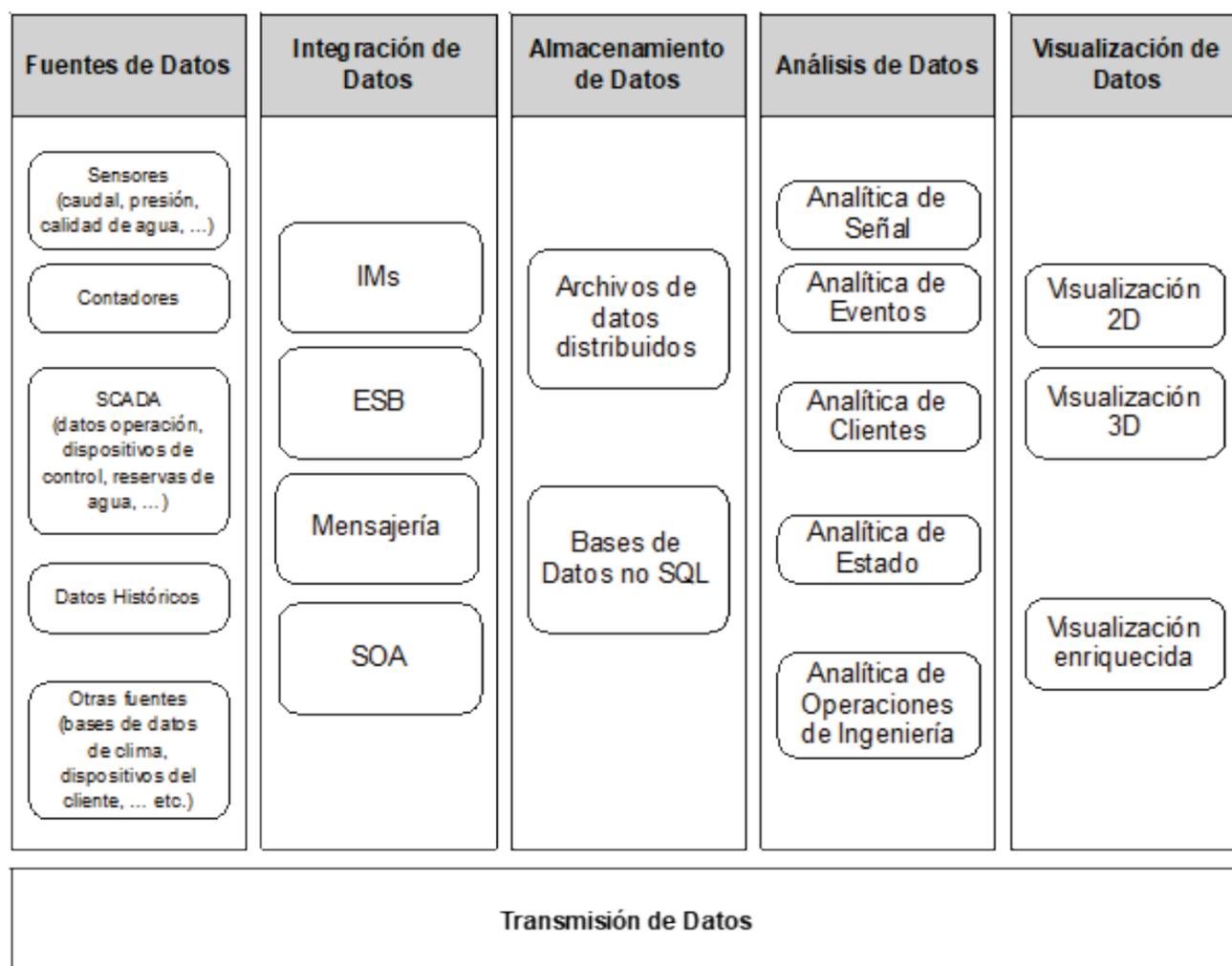


Figura 38. Arquitectura *Big Data* para AMI de aguas.

La tele-lectura en una operadora de aguas introduce conceptos de Big-Data que afectan a la arquitectura de las soluciones propuestas. La Figura 38 presenta una arquitectura *Big Data* para AMI de aguas, que cubre las diferentes fases del ciclo de vida: fuentes de datos, integración, almacenamiento, análisis y visualización.

Fuentes de datos.

Podemos distinguir distintos tipos de datos según la fuente de donde son extraídos:

1. Medidas de los contadores, asociados al uso y el consumo de agua, incluyendo valores promedio, pico y hora del día, etc.
2. Datos operativos, fundamentalmente datos de flujos y presiones, capacidad de respuesta a la demanda, etc.
3. Datos no operativos relacionados con el suministro, como datos maestros, calidad agua, etc.
4. Datos de mensaje de eventos, tales como pérdida y restauración del servicio, detección de averías, etc.
5. Otros datos exógenos (datos de clima, dispositivos del cliente, etc.).
6. Metadatos, que se utilizan para organizar e interpretar todos los demás tipos de datos.

Todos estos datos se recopilan de varias fuentes, como contadores, sensores, dispositivos, terminales de datos móviles, dispositivos de control, dispositivos del cliente y datos históricos, directamente por la plataforma de *Big Data* o por una plataforma específica de IoT con la que comparte la base de datos.

Integración de datos.

En la práctica se utilizan diferentes tecnologías TIC para mejorar la confiabilidad, la persistencia, la eficiencia y el rendimiento de las redes de distribución. Esta es la razón para tener varias tecnologías y enfoques que aseguren la integración de datos:

- **Una arquitectura orientada a servicios (SOA).** Los sistemas empresariales combinan una gran cantidad de software, cada uno con su propia forma de brindar servicios. El problema surge al administrar y mantener todos estos sistemas. Como solución, SOA hace que el software se comuniquen utilizando un único enfoque que facilita una integración de datos flexible.
- **El *Enterprise Business Service (ESB)*.** Administra la comunicación entre diferentes tipos de sistemas como GIS, OMS, CIS, etc. ESB aporta muchos beneficios para reducir costes y tiempo en términos de gestión, seguimiento y divergencia de integración. En los sistemas AMI, las tecnologías ESB están fuertemente relacionadas con SOA.
- **Modelos de información (IMs).** Nos referimos aquí a modelos UML que juegan un papel muy importante en términos de integración de datos, y ayudan a su intercambio con la infraestructura técnica de la red, reduciendo tiempos y costes. También son claves para garantizar la interoperabilidad de datos en el caso de implementar diferentes aplicaciones y proveedores. Operan con los datos a nivel de transformación y se utilizan en conjunción con el ESB para la normalización y estandarización.

- **Mensajería.** Representa a los sistemas de comunicación basados en el intercambio de mensajes. Los mensajes incluyen no sólo datos, sino también la información de diferentes aplicaciones administradas por el servidor de mensajería.

Almacenamiento de datos.

El almacenamiento de datos tiene un papel fundamental, porque se basa en la recopilación de datos desde sus fuentes y a la entrega de datos a las herramientas de análisis en rápidas operaciones de entrada/salida por segundo. Para ello, es necesario contar con un mecanismo de almacenamiento de datos desarrollado y escalable que cumpla con los requisitos de *Big Data*.

- El **sistema de archivos distribuido (DFS)** permite a varios usuarios en múltiples máquinas compartir archivos y recursos de almacenamiento. Se basa en mecanismos de almacenamiento cliente/servidor que permiten a cada usuario obtener una copia local de los datos almacenados. Hay muchas soluciones que utilizan DFS, por ejemplo: Google GFS, Quantcast FS, HDFS, Ceph, Lustre GlusterFS, PVFS, etc.
- Las **bases de datos NoSQL** representan un nuevo enfoque de base de datos que superan las limitaciones de las bases de datos relacionales en el caso de datos masivos. Este tipo de bases de datos se presentan en tres arquitecturas: 1) soluciones de valor clave (*key-value*) como Dynamo y Voldemort; 2) soluciones orientadas a columna como Cassandra y HBase y; 3) soluciones de bases de datos de documentos como MongoDB y CouchDB.

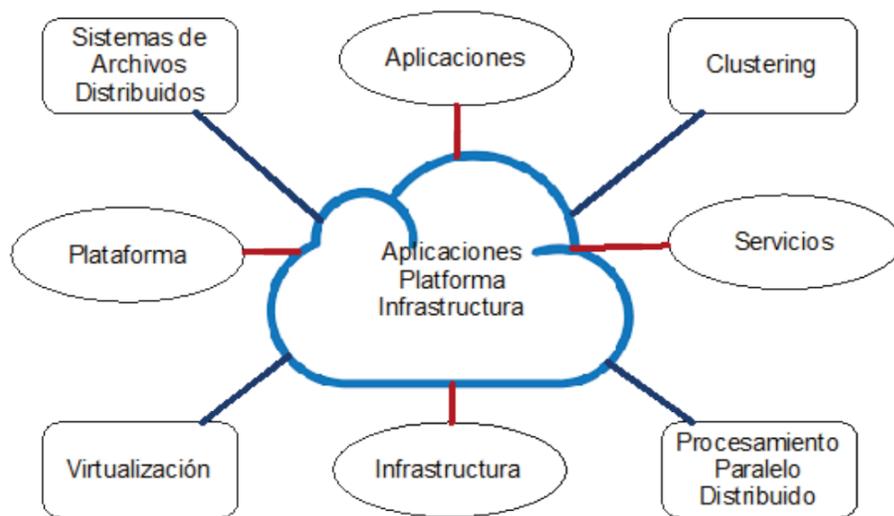


Figura 39. Componentes de computación en la nube.

La **computación en la nube** (*Cloud Computing*) resuelve muchos problemas relacionados con la gestión de *Big Data*. Ésta ayuda a las operadoras a garantizar la flexibilidad, la agilidad y la eficiencia en términos de ahorro de costes, energía y recursos. La computación en la nube se basa en varios conceptos que se ilustran en la Figura 39, y trae enormes beneficios debido a la redundancia, recuperación de fallos por reversión y copia de seguridad por multi-localización, que aumentan la tolerancia a fallos y la seguridad de los datos.

La computación en la nube se ofrece en diferentes modelos de servicios. Estos modelos se pueden ofrecer de manera pública, privada o híbrida:

1. **Software como servicio** (SaaS), que proporciona aplicaciones y las pone a disposición de los clientes a través de Internet;
2. **Plataforma como servicio** (PaaS), que proporciona hardware y software, y ofrece a los clientes la posibilidad de crear sus propias aplicaciones;
3. **Infraestructura como servicio** (IaaS), que ofrece hardware, software, servidores y otros componentes de infraestructura de TI a través de Internet;
4. **Datos como servicio** (DaaS), que permite a los clientes ejecutar aplicaciones para almacenar datos en línea;

5. **Comunicación como servicio** (CaaS), útil para herramientas de mensajería que incluyen voz sobre IP (VoIP), mensajería instantánea (IM) y videoconferencia, y;

6. **Monitorización como servicio** (MaaS), que se usa para servicios que garanticen la seguridad de un tercero.

Los entornos de *Cloud Computing* satisfacen los desafíos del uso de tecnologías de *Big Data*. Afortunadamente, existe una gran cantidad de soluciones *cloud* que pueden manejar *Big Data* como Amazon Elastic Compute Cloud (Amazon EC2), Google Compute Engine, Microsoft Azure Cloud, IBM Docker Cloud, etc.

Analítica de datos en operadores de aguas.

A esto dedicaremos el apartado 8.3 de este documento.

Visualización de datos.

La visualización de datos tiene gran importancia porque mejora la evaluación del sistema y es una herramienta muy útil para la toma de decisiones. De hecho, existe una gran cantidad de técnicas de visualización basadas en técnicas multi-variables de alta dimensionalidad, con resultados en 2D e incluso 3D.

Arquitectura de Referencia.

El Instituto Nacional de Estándares y Tecnología (NIST) propuso una arquitectura de referencia para el desarrollo de proyectos de *Big Data*³⁵, incluyendo algunas consideraciones generales, sus implicaciones y requisitos (Figura 40).

³⁵ National Institute of Standards and Technology (2015). NIST Big Data Interoperability Framework: Volume 6, Reference Architecture. <http://nvlpubs.nist.gov/nistpubs/SpecialPublications/NIST.SP.1500-6.pdf>

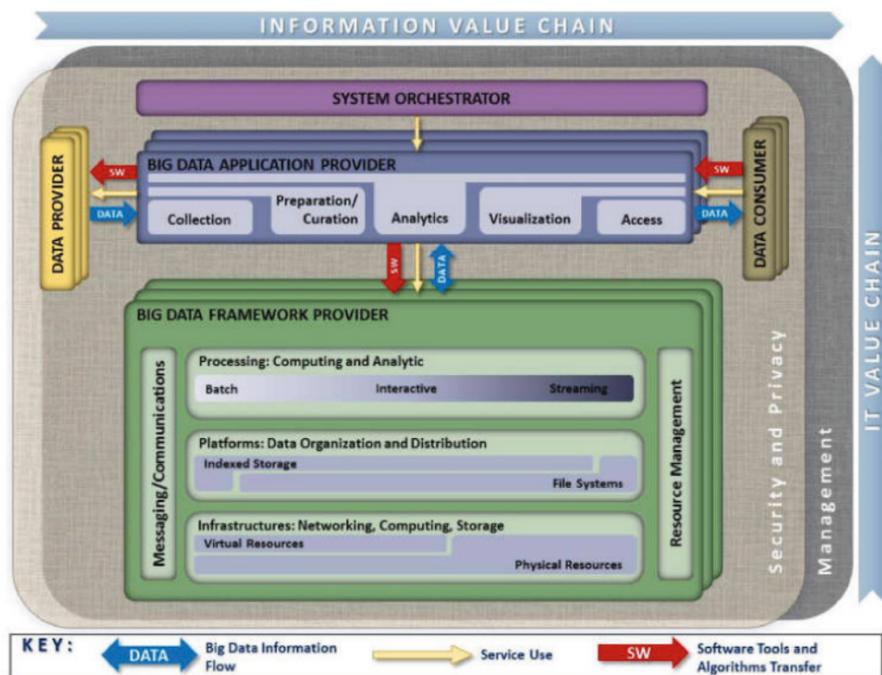


Figura 40. Arquitectura de referencia de *Big Data* del Instituto Nacional de Estándares y Tecnología (NIST)³⁵.

Cinco bloques principales componen la arquitectura de referencia:

1. **Orquestador del sistema:** define e integra las actividades de aplicación de datos requeridas en un sistema vertical operativo. Proporciona los requisitos generales sobre propiedad empresarial, gobernanza, ciencia de datos y arquitectura del sistema.
2. **Proveedor de datos:** introduce nuevos datos o fuentes de información en el sistema de *Big Data*, ya sea *online* u *offline*. También es responsable de la persistencia de datos (alojamiento), depuración de datos (PII removibles - información de identificación personal), metadatos (para historial y reutilización), política para el acceso de otros a los datos y consultas sin transferencia de datos.
3. **Proveedor de marco de *Big Data*:** proporciona una infraestructura de computación al tiempo que protege la privacidad y la integridad de los datos. Algunos recursos o servicios utilizados por el proveedor de aplicaciones de *Big Data* son: el

marco de infraestructura (redes, computación almacenamiento, entorno), la plataforma de datos (almacenamiento físico, sistemas de archivos, almacenamiento lógico) y el procesamiento (soporte de software para aplicaciones).

4. **Proveedor de aplicaciones de *Big Data*:** ejecuta el ciclo de vida para cumplir con los requisitos de seguridad y privacidad. También desarrolla requisitos definidos por el orquestador del sistema, mecanismos para capturar, preparar, analizar y visualizar datos, así como para acceder a los resultados.
5. **Consumidor de datos:** incluye usuarios finales u otros sistemas que utilizan los resultados del proveedor de aplicaciones de *Big Data*, tales como buscar y recuperar, descargar, analizar localmente, y generar y visualizar informes.

Existen buenos estudios sobre la aplicación de técnicas de inteligencia artificial a la gestión de los sistemas de distribución de agua. Los contenidos de esta sección se basan, principalmente, en el trabajo publicado en la referencia³⁶ al pie de página.

³⁶ [Jenn:2020] H. Jenny, Y. Wang, E. García-Alonso, R. Mínguez, "Using Artificial Intelligence for Smart Water Management Systems," ADB Briefs, 2020. doi: <http://dx.doi.org/10.22617/BRF200191-2>

9.3. Herramientas de inteligencia artificial en los operadores de aguas.

La Analítica de Datos se suele definir como “la ciencia que examina datos en bruto con el propósito de sacar conclusiones sobre la información”. Muchas de las técnicas y procesos de análisis de datos se han automatizado en procesos mecánicos y algoritmos que funcionan sobre datos sin procesar. Las técnicas de análisis de datos pueden revelar tendencias y métricas que de otro modo se perderían en la masa de información. Después, esta información se puede utilizar para optimizar los procesos y aumentar la eficiencia general de una empresa o sistema.

El análisis de datos es un término amplio que abarca muchos tipos diversos de análisis, en diferentes pasos. La adquisición y preparación de los datos es uno de los que consumen más tiempo y recursos, e incluye:

1. Determinar los requisitos de datos y cómo se agrupan los datos.
2. Recopilar los datos.
3. Organizar los datos para facilitar su análisis.
4. Limpiar y curar los datos para evitar discontinuidades, duplicidades, valores fuera de rango, etc.

Una vez preparados los datos, éstos se analizan empleando diferentes técnicas, entre las que se destacan las técnicas de Inteligencia Artificial y *Machine Learning*.

El análisis de datos es importante porque ayuda a las empresas a optimizar su operación. Pero también se emplea para tomar mejores decisiones comerciales y para ayudar a analizar las tendencias y la satisfacción de los clientes, lo que puede conducir a productos y servicios nuevos y mejores.

De manera general se distinguen cuatro tipos básicos de análisis (Figura 41, siguiente página):

1. **El análisis descriptivo**, que describe lo que ha sucedido durante un período de tiempo determinado.
2. **El análisis de diagnóstico**, que se centra en por qué sucedió.
3. **El análisis predictivo**, que nos traslada a lo que probablemente sucederá a corto plazo.
4. **El análisis prescriptivo**, que sugiere un curso de acción para adelantarse a los acontecimientos.

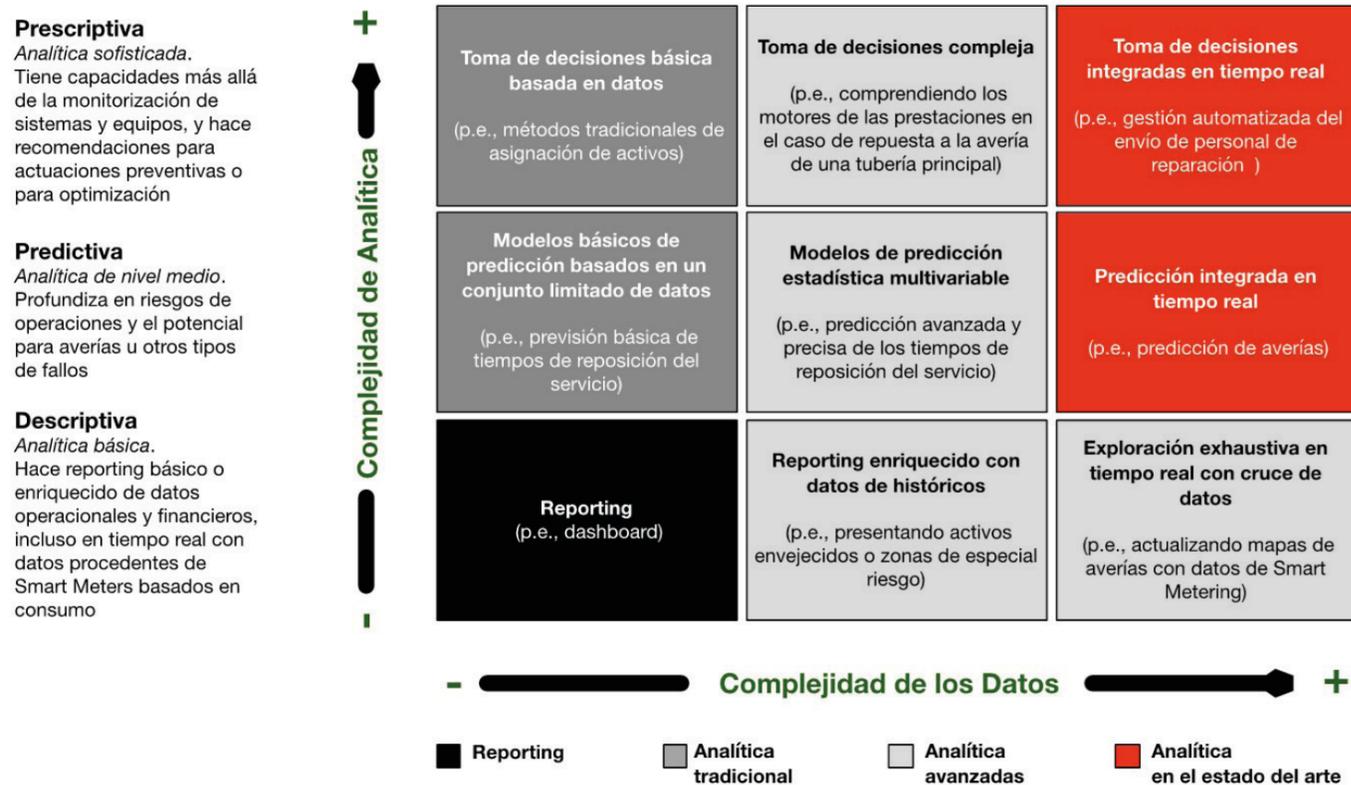


Figura 41. Capacidades de la analítica de datos (elaboración propia a partir de un original de Bain & Company).

9.3.1. Para la gestión comercial.

El análisis de datos es la base de muchos sistemas de control de calidad en el mundo financiero, incluido el popular programa Six Sigma, y está fuertemente implantado en muchos sectores de actividad, como la industria del transporte y vacacional, los sectores de salud y minorista, y las operadoras.

La combinación de la tele-lectura con las técnicas de *Big Data* y los algoritmos de IA permiten hoy día el desarrollo de un conjunto de herramientas que tienen una influencia decisiva en todos aspectos de la organización de una operadora de aguas, incluyendo:

- gestión comercial,
- optimización y decisión en el suministro de agua,
- inteligencia de negocio,
- gestión del conocimiento,
- imagen corporativa, y
- seguridad.

Aun siendo la facturación y relación comercial con los clientes la primera de las funciones asociadas a la tele-lectura, las operadoras pueden conocer en tiempo real, mediante el uso de las técnicas de IA, el consumo de sus clientes, posibilitando el desarrollo de un nuevo estilo de gestión comercial que incluye:

- La facturación en tiempo real con datos reales y no estimados.
- La interacción directa con el cliente, con el objetivo de mejorar la información que se le proporciona, informar de excesos o anomalías de consumo, integrar al ciudadano en la gestión de un recurso escaso de gran importancia medioambiental y, en general, de mejorar la calidad del servicio.
- El establecimiento de tarifas discriminatorias por tramos horarios o días de la semana, incluso de manera dinámica, en función de las reservas de agua, de las necesidades del suministro y de las políticas sociales y medioambientales.

9.3.2. Para la optimización y decisión en el suministro.

Los procesos de optimización y decisión en las operadoras de agua se basan en la existencia de un modelo hidráulico, el cual se utiliza para varios propósitos:

- **Diagnóstico:** para explicar qué pasa y qué ha pasado en la red de distribución, con vistas a un mejor conocimiento.
- **Predicción:** para predecir qué puede pasar en diferentes escenarios, con vistas a la operación y la planificación.
- **Prescripción:** para ayudar en la toma de decisiones y, en algunos casos, automatizar la decisión.

Sobre esos modelos hidráulicos se realizan diferentes análisis y operaciones, entre las que destacamos:

- **Análisis de capacidad de observación,** que trata de optimizar el número y la localización de los sensores para obtener la máxima información del sistema.
- **Análisis operacional,** que trata del control optimizado en tiempo real de ciertas partes de la red de distribución de agua, especialmente estaciones de bombeo y válvulas de presión o flujo, para optimizar su funcionamiento, reducir el consumo energético y mantener la calidad del agua.

Tradicionalmente, estos análisis han empleado técnicas de optimización basadas en el modelo hidráulico clásico (parámetros físicos - modelo 1.0), los cuales normalmente consideran sólo el régimen estacionario. Actualmente, mediante el empleo de un modelo hidráulico orientado a datos (modelo 2.0), éstos se complementan con inteligencia artificial para el estudio del comportamiento dinámico, la detección de anomalías y la previsión de demanda.

La introducción de la tele-lectura, asociadas a las tecnologías de *Big Data*, facilitan la introducción de algoritmos de IA con diferentes objetivos:

1. **Diseño óptimo de las redes de monitorización y control.** Asociado al problema de observabilidad de la red anteriormente comentado, estas herramientas ayudan en la selección del número, tipo y localización de los sensores que permiten determinar de la manera más eficiente posible el estado de la red, así como de los actuadores que permiten operar sobre ella. Estas herramientas deben establecer conexiones entre las inversiones necesarias y los beneficios operacionales esperados, definiendo un entorno realista para la realización de un análisis coste-beneficio.
2. **Detección numérica de pérdidas de agua física y aparente.** Los algoritmos de IA, en conjunción con técnicas de estimación de estado, usando optimización estocástica, tratan de encontrar el estado más probable de operación de la red, de acuerdo con un cierto grado de incertidumbre en las medidas. Para ello realizan una calibración probabilística de la red (en oposición a la calibración tradicional, que es determinista), analizan la estructura de los errores y extraen información de los patrones de error. Esta información permite diferenciar entre los diferentes tipos de pérdidas, disminuyendo el número necesario de acciones en campo para su detección, con el consiguiente ahorro de tiempo y dinero. Al mismo tiempo, detectan posibles anomalías, tanto en los consumos como en los propios aparatos de medida.
3. **Ahorro de energía.** La IA, junto con la optimización estocástica, permite ahorrar energía en la operación de la red, contribuyendo a: 1) encontrar los procedimientos de operación más eficientes para una determinada calidad de servicio, y 2) identificar las inversiones en activos (reemplazo de bombas, incremento de capacidad de los depósitos, cambio de tipo de contrato energético, etc.) necesarias para reducir los consumos energéticos.

9.3.3. Para la inteligencia de negocio.

Las herramientas de IA, asociadas a las técnicas de *Big Data*, se emplean para diferentes fines de inteligencia de negocio. En particular, para:

4. **Definición de planes y protocolos de contingencias.** Los algoritmos de IA contribuyen a la identificación y clasificación del nivel de riesgo (interrupción del servicio, amenaza a la salud, etc.) de las posibles contingencias (rotura de tubería, apagón energético, sequía o inundaciones, contaminación del agua, etc.) que se producen en el sistema y ayudan, en la preparación, una respuesta optimizada y proporcionada al nivel de riesgo.
5. **Clasificación de los patrones de consumo y previsión de demanda.** Como se ha comentado anteriormente, quizás sean éstas las aplicaciones más populares de los algoritmos de IA en el sector del agua. La clasificación de los patrones de consumo de los usuarios (con las necesarias precauciones, relacionadas con la confidencialidad de datos) es una herramienta útil para la mejora del servicio, que permite detectar consumos anómalos, adecuar las políticas de tarifa horaria, etc., a la vez que facilita el desarrollo de algoritmos de previsión de demanda, sobre todo a corto y medio plazo. A largo plazo es necesario tener en cuenta también cuestiones de tipo socioeconómico y climático.
6. **Planificación de red.** Los algoritmos de IA ayudan en la planificación óptima de la red y en la selección de alternativas. Nuevamente, los algoritmos de IA son muy adecuados para estos procesos de optimización por su habilidad para tratar con las incertidumbres propias de los cambios socioeconómicos o poblacionales.
7. **Gestión de activos.** Los algoritmos de IA ayudan en la identificación del ciclo de vida de los activos y en la previsión de su vida útil, que son herramientas fundamentales del mantenimiento predictivo.

1. **Integración.** En la integración de datos procedentes de diferentes fuentes (de operación de clientes, financieras, de marketing, mercado, etc.), dentro y fuera de la operadora. Los resultados de esa integración son útiles para hacer un seguimiento de los KPIs.
2. **Visualización inteligente.** La IA se emplea para crear grafos y *dashboards* útiles, tanto para los operadores como para los gestores de la operadora de aguas.
3. **Predicción de tendencias.** Identificando relaciones entre variables espaciales y temporales es posible predecir las tendencias que afectan al sistema de distribución de aguas en diferentes escenarios. Asociando estas tendencias con sus causas externas a la operadora (eventos singulares del calendario, variables de desarrollo socioeconómico, variables climatológicas, etc.), es posible mejorar la calidad de las predicciones.

9.3.4. Para la gestión del conocimiento.

La gestión del conocimiento es una de las claves del éxito empresarial en la sociedad actual. El conocimiento es un concepto abstracto que se basa en el capital humano y que está muy relacionado con actividades de negocio que están siendo profundamente transformadas por estas nuevas tecnologías, en particular:

1. La gestión de los recursos humanos.
2. Las plataformas de colaboración y compartición del conocimiento.
3. Las plataformas de *e-Learning*.

9.3.5. Para la imagen corporativa.

Las tecnologías de IA se emplean para mejorar la comunicación con los clientes y el uso de las redes sociales. Herramientas basadas en IA se utilizan hoy día para clasificar mensajes, fotos y videos, así como para agrupar, filtrar y almacenar datos en tiempo real acerca de incidencias o situaciones de emergencia. Las llamadas y avisos de los usuarios acerca de cortes de agua, baja presión, turbidez o mal sabor pueden tratarse como fuentes de información cualitativa en un sistema de alerta temprana.

De la misma manera se puede extraer información acerca de la percepción social de algunos problemas respecto al agua o al medioambiente para ajustar las políticas de la operadora de aguas. Un último objetivo es mejorar la imagen de responsabilidad corporativa de la entidad, contribuyendo a la realización y diseminación de las actividades de interés social y cultura, así como aquéllas de carácter formativo.

9.3.6. Para la ciberseguridad.

Hemos visto en los apartados anteriores la potencialidad de captura de información que tiene la tele-lectura, unida a tecnologías de *Big Data* con algoritmos de IA. Esta misma información podría tener consecuencias desastrosas (desde la violación de datos económicos privados hasta el simple conocimiento de los patrones de consumo de los clientes) en manos inadecuadas. Por ello, la seguridad en el acceso y uso de la información es un requisito clave en estos sistemas. La IA está llevando la ciberseguridad a niveles extremos, usando algoritmos de *Deep Learning* aplicados a analítica de comportamiento, para detectar acciones anormales y prevenir ciberataques.

9.4. Herramientas comerciales de analítica de datos.

Existen numerosas herramientas comerciales de gestión de datos para operadoras de agua. Entre los proveedores de herramientas de datos para *Smart Water* se encuentran:

1. Las principales multinacionales de la inteligencia Artificial como:
 - IBM Intelligent Water e IBM Enterprise Asset Management for utilities (https://www.ibm.com/smarterplanet/th/en/water_management_nextsteps/solution/J959447X48546T28.html).
 - Oracle (<http://www.oracle.com/us/ci/central/oracle-utilities-capabilities-395893.pdf>).
 - Cisco (<https://www.cisco.com/c/en/us/solutions/industries/smart-connected-communities/smart-water.html>).
2. Las principales multinacionales de control industrial como:
 - Schneider EcoStruxture for Water Networks (<https://www.se.com/ww/en/work/solutions/for-business/water/water-networks/>).
 - Siemens (<https://siemens.mindsphere.io/en/solutions/sigfox-use-case-intelligent-water-Metering>).
3. Las principales multinacionales del sector del Metering (especialmente en agua), como:
 - Itron (<https://www.itron.com/na/solutions/who-we-serve/water>).
 - Sensus (<https://sensus.com/solutions/analytics/>).
 - Honeywell Elster (<https://www.elsterMetering.com/en/Smart Metering>).
 - Suez (<https://www.suez.es/es-es/seccion-comercial/administraciones-publicas/soluciones-para-ciudades/smart-water>).
 - Kamstrup (<https://www.kamstrup.com/en-en/water-solutions>).
 - Global Omnium (<https://www.globalomnium.com/Grupo/Inicio/>).
 - Aqualia (<https://www.aqualia.com/#>).
4. Multinacionales de las telecomunicaciones como:
 - Telefónica (<https://iot.telefonica.com/es/solutions/reconnect-post-covid/smart-water-solutions/>).
 - Huawei (<https://www.huawei.com/minisite/iot/en/smart-water.html>).

Y muchas otras (ArsonMetering, Trimble, AKV...).

Casi todas las soluciones contemplan los principales problemas del *Smart Metering* de aguas, como la facturación, gestión de clientes, recolección de las medidas, limpieza y curación de datos, detección de fugas, previsión de demanda, gestión de activos y, en algunos casos, inteligencia de negocio y portal del cliente. En la mayor parte de los casos estos servicios se ofrecen en la modalidad de SaaS con datos en la nube. Las empresas de IT aportan toda su infraestructura de nube y su capacidad de ofrecer PaaS, incluso DaaS. Destacan también por la natural integración de estos servicios con sus herramientas de inteligencia de negocio. Las empresas de *Metering* hacen más incidencia en la natural adaptación de sus herramientas a las infraestructuras de *Metering* que ellos venden; las multinacionales de control a su experiencia en las técnicas de SCADA; las pequeñas empresas, a su capacidad para adaptarse a las necesidades del cliente y a un trato personalizado.

Profundizaremos sólo en dos casos concretos. El de una multinacional del sector de *Metering* de aguas como es Sensus, y a una empresa especializada como Global Omnium.

9.4.1. Sensus Analytics.

Sensus dispone de un conjunto de herramientas para administración y analítica de datos, que engloba bajo el nombre de Sensus Analytics³⁷, incluyendo un *bundle* denominado Essential Analytics, con herramientas de administración, facturación, acceso a dispositivos, gestión de contadores y *reporting*, y una *suite* específica de aguas, que incluye aplicaciones de agua no facturada, monitorización acústica, perfil de presiones, localizador de ingresos ocultos y gestión del servicio³⁸. Las herramientas específicas de agua están destinadas a:

- Uso preciso de los datos de contadores, consumos y facturación.

³⁷ <https://sensus.com/solutions/analytics/>.

³⁸ <https://sensus.webdamdb.com/bp/#/folder/1654522/89704846>.

- Optimización de activos.
- Detección y gestión de pérdidas.
- Monitorización de presiones para detección de pérdidas.
- Monitorización acústica para detección de pérdidas.
- Mantenimiento predictivo y preventivo.
- Conexión / Desconexión remota.
- Conservación.
- Test de contadores y priorización de la reposición.
- Reducción de agua no facturada (incluyendo pérdidas aparentes).
- Compromiso del cliente.

Finalmente cuenta con un portal de clientes³⁹. Los servicios se ofrecen en la modalidad de SaaS con datos en la nube.

9.4.2. Global Omnium-Idrica go-aigua.

La empresa española Idrica del grupo Global Omnium tiene una *suite* de *Smart Metering* denominada go-aigua⁴⁰, que se basa en una plataforma agnóstica (independiente de fabricante), modular y escalable.

Los módulos disponibles por la herramienta son:

- **Service Operation Center (SOC)**. Integra el resto de las herramientas, gracias a su motor de datos y a su motor de inteligencia.

³⁹ <https://sensus.com/products/customer-portal-software/>.

⁴⁰ <https://www.idrica.com/es/goaigua/#>.

- **Smart Scada.** Proporciona una visión global, completa y corporativa de la realidad operacional de la empresa, a la vez que permite controlar y tele operar los activos que forman parte del conjunto de infraestructuras gestionadas, ofreciendo, por tanto, un centro de operaciones integrado.
- **Leaks.** Permite monitorizar las redes de distribución de agua potable a distintos niveles jerárquicos, siendo un DMA (*District Metered Area*) la unidad mínima de agregación. El sistema fundamenta su eficiencia en la información de entrada recogida, principalmente datos de caudal y presión de los sensores dispuestos sobre la red de distribución, el histórico de datos de dichos sensores, la sectorización definida en un Sistema de Información Geográfico (GIS) y, adicionalmente, los datos que puedan recogerse en caso de contar con contadores inteligentes operando en red fija.
- **Smart metering.** Permite obtener, cargar y visualizar las lecturas y alarmas procedentes de los contadores de agua instalados en los puntos de suministro de los clientes finales. Este módulo emplea varios algoritmos inteligentes disponibles, como detección de fugas, identificación de fraudes, caracterización de clientes o predicción de la demanda entre otros
- **Digital Twin.** Permite obtener el gemelo digital en tiempo real de una red de distribución de agua, asociando datos procedentes de sensores instalados en la red junto con modelos hidráulicos convencionales. De esta manera, el sistema realiza la simulación de posibles respuestas ante la operación y gestión de una red de abastecimiento de agua.
- **Work Orders.** Permite gestionar las Órdenes de Trabajo (OTs) asociadas a los procesos predictivos y correctivos de operación y mantenimiento (mantenimiento electromecánico, calidad del agua, reparación de fugas, parque de contadores, etc.).
- **Billing.** Aplicación clásica de facturación de clientes.
- **Customers.** Módulo específico para la gestión de la atención al cliente que registra todas las interacciones existentes. Además del registro de interacciones, el módulo permite gestionar y procesar las incidencias que puedan ocurrir con el cliente a lo largo de la vida su contrato. Por otra parte, la solución integra una Oficina Virtual en donde el cliente puede interactuar directamente con la compañía gestora del servicio de aguas sin necesidad de visitar una oficina de manera presencial. Finalmente, la solución permite el acceso de los clientes, desde dispositivos móviles con sistema operativo Android, a la oficina virtual mediante la APP Clientes. La APP cuenta con las mismas funcionalidades que la oficina virtual.
- **Assets Management.** Permite gestionar planes de inversión para la renovación de los activos en las redes de distribución. Recupera distintos tipos de información asociada a los activos: a) GIS (Inventariado: fecha de instalación y materiales); b) órdenes de trabajo (reparaciones); c) eficiencia Hidráulica (fugas); d) costes (obra civil y materiales); e) algoritmia de obsolescencia programada (modelos predictivos de degradación); f) facturación (zona de alta o baja facturación / grandes cuentas) y; g) quejas de clientes.

Utiliza la base de datos PostgreSQL, pero es escalable a soluciones noSQL como MongoDB o Cassandra. Se distribuye como SaaS y también permite una distribución Standalone con servidores dedicados en las instalaciones del cliente.

9.5. Herramientas de analítica de datos más adecuadas para nuestra empresa.

Plataformas y Herramientas	Plazo		
	Corto	Medio	Largo
Plataforma IoT de recolección y gestión de la tele-lectura:			
Escalado simple de la plataforma actual, con la misma arquitectura y más servidores y discos.		Insuficiente	
Plataforma propia nueva, pero con servicios, servidores y almacenamiento propios.			
Plataforma y/o almacenamiento en la nube y/o servicios de datos de un tercero.	Innecesario		
Plataforma de clientes:			
Mantenimiento de la plataforma actual, sin cambios.			
Mantenimiento de la Plataforma actual, incluyendo algunas opciones adicionales, como información actualizada del consumo y avisos de consumo excesivo.			
Escalado para permitir interacción con cliente.			
Avanzado, incluye IA y <i>Big-Data</i> para perfilado de clientes, gestión proactiva y compromiso del cliente.	Innecesario		
Modelo hidráulico:			
Básico, basado en modelo físico y con datos limitados.			
Intermedio, incluyendo análisis estadístico y gestión de incertidumbres con datos de tele-lectura agregados.			
Avanzado, incluyendo inteligencia artificial y <i>Big-Data</i> .	Innecesario		
Detección de fugas:			
Básico, basado en métodos tradicionales.	Necesario		
Intermedio, incluyendo datos de tele-lectura agregados por sectores.			
Avanzado, incluyendo inteligencia artificial y <i>Big-Data</i> con procesamiento individualizado por cliente.	Innecesario		
Detección integrada con despliegue de sensores específicos (acústico).			Importante
Previsión de la demanda:			
Básico, basado en datos históricos.			
Intermedio, incluyendo datos de tele-lectura agregados (por sectores, tipos de clientes...).			Necesario
Avanzado, incluyendo inteligencia artificial y <i>Big-Data</i> con procesamiento individualizado por cliente.			
Gestión de activos:			
Gestión de tele-lectura (contadores, terminales de lectura, baterías).		Necesario	Necesario
Gestión de otros activos.	No se considera en este estudio.		
Plataforma de facturación.	No se considera en este estudio.		
Inteligencia de negocio.	No se considera en este estudio.		
Gestión de recursos humanos.	No se considera en este estudio.		
Responsabilidad social e imagen corporativa.	No se considera en este estudio.		

Figura 42. Herramientas de interés para una operadora de aguas en tres escenarios: corto, medio y largo plazo.

A la vista del estado del arte anterior y de las soluciones existentes, la Figura 42 recoge las necesidades de herramientas y plataformas que requiere una operadora de aguas para sacar el mayor provecho posible a los datos de la tele-lectura. Se prevén tres plazos en los que la entidad pase de una gestión convencional de su negocio a la incorporación plena de los datos de tele-lectura:

- **A corto plazo.** En este escenario, a partir de una situación sin tele-lectura, la operadora incorpora la tele-lectura, pero mantiene, en la medida de lo posible, las infraestructuras actuales.
- **A medio plazo.** En este escenario, la operadora tiene implantada la tele-lectura y trata de extraer el máximo rendimiento de la misma, maximizando la eficiencia de sus inversiones.
- **A largo plazo.** En este escenario, la tele-lectura está asentada en la cultura de la operadora y se exploran todas las posibilidades que la misma ofrece en los diferentes ámbitos del negocio.

10. Consideraciones acerca de la transformación AMI.

La transformación AMI de una empresa de aguas representa un reto que afecta a todos sus niveles: técnicos, organizativos y de gestión. En este bloque se realizarán algunas consideraciones de la transformación AMI en diferentes aspectos de la empresa.

En lo que sigue se describen los cambios tecnológicos necesarios para la transformación AMI de una empresa de aguas. Podemos suponer que nuestra empresa de referencia se encuentra próxima a la primera fase de adaptación a un sistema de *SmartWater*, contando con:

- un sistema de recolección semi-automática de las lecturas de los contadores (lecturas manuales con terminales de datos);
- un modelo hidráulico basado en leyes físicas;
- un sistema SCADA para: a) la gestión de clientes, b) la gestión de la información en redes, y c) la gestión de proyectos y obras, y;
- un sistema de Inteligencia de negocio.

Para dar el siguiente paso, deberíamos realizar un *checklist* que incluya:

1. La definición de objetivos, operaciones e indicadores de prestaciones (KPIs), así como la integración de las herramientas de análisis que proporcionen un diagnóstico y una ayuda a la decisión para conseguir esas KPIs.
2. El desarrollo de una red AMR para la tele-lectura, a partir del modelo más adecuado de gestión de los contadores, de los terminales de tele-lectura y de la red de comunicaciones.
3. El despliegue de un número mínimo de sensores (fundamentalmente de presión y caudal), estratégicamente colocados para ser capaz de construir un modelo hidráulico suficiente. Estos sensores deben integrarse en el sistema AMR.
4. Una plataforma IoT para la gestión de la tele-lectura, la recolección y almacenamiento de las mismas, así como la integración de datos procedentes, tanto de otras fuentes internas, como de fuentes ex-

ternas. Esta plataforma debe considerar también la necesidad de limpiar y curar los datos, preparándolos para su tratamiento por las herramientas de análisis.

5. Unas bases de datos con capacidad (al menos, futura) de *Big Data*, para almacenar los datos recogidos por la plataforma IoT, proporcionando servicios al resto de las herramientas, servicios y aplicaciones de la empresa.
6. Un conjunto de herramientas que permitan aplicar, sobre la información almacenada, la inteligencia necesaria para la gestión comercial, gestión de operaciones, inteligencia de negocios, gestión del conocimiento e imagen corporativa que le permite a la empresa progresar en su transformación digital hacia una operadora AMI.
7. La garantía de unos niveles suficientes de seguridad interna y ciberseguridad, en la adquisición de los datos, en su almacenamiento y procesamiento, así como en los servicios y aplicaciones que se desarrollen sobre los mismos.

A continuación, se describen unas consideraciones previas sobre las cuales se debe fundamentar la transformación hacia un operadora AMI.

Consideraciones generales.

Entendemos que, como operador de servicio público, tenemos:

- un compromiso social y empresarial de servicio a los ciudadanos;
- la necesidad de mantener un servicio de calidad, sin interrupción de funcionamiento en sus sistemas de información y gestión.

Consideraciones de AMR y plataforma IoT.

- El operador dispone en la actualidad de la capacidad de leer los datos de tele-lectura en base a una operación basada en ficheros, que es válida para el sistema actual de lectura manual, pero que no es válida para la recepción en tiempo real de los datos de cientos de miles de contadores con la tasa de refresco que requieren las herramientas avanzadas, basadas en inteligencia artificial, asociadas a un sistema AMI.
- Por ello, el operador debe incorporar a la estructura actual una plataforma de captación de datos de la IoT, o emplear una externa siguiendo un modelo PaaS.

Consideraciones de infraestructura para los sistemas de gestión e información.

- Disponemos de una infraestructura propia de servidores, que es suficiente para las tareas actuales de información y gestión (plataforma de gestión, modelo hidráulico 1.0 e inteligencia de negocio).
- La introducción de los datos de tele-lectura y la preparación de los mismos para su análisis mediante herramientas de analítica de datos puede exigir una transformación significativa de la infraestructura actualmente existente para los sistemas de gestión e información.
Esta transformación puede realizarse de tres maneras:
 - mediante la actualización y escalado de la infraestructura actual;
 - mediante la incorporación de una nueva infraestructura, complementaria de la actual, pero igualmente propiedad de la empresa, o;
 - mediante infraestructura de un proveedor, en base a un modelo IaaS o PaaS.

Consideraciones de almacenamiento de datos.

- Disponemos de una infraestructura de almacenamiento de datos propias, que es suficiente para las tareas actuales de información y gestión (consistente en la plataforma de gestión, el modelo hidráulico tradicional y los sistemas de inteligencia de negocio).
- La introducción de los datos de tele-lectura y la preparación de los mismos para su análisis por herramientas de analítica de datos puede exigir una transformación significativa de los sistemas actuales de almacenamiento de la información. El crecimiento de las bases de datos puede exigir, incluso, el uso de tecnologías de *Big Data*. A este punto se puede llegar de tres formas:
 - mediante una actualización y expansión del modelo de almacenamiento actual;
 - mediante la adquisición de un nuevo sistema de almacenamiento propiedad de la empresa, o;
 - mediante el uso de una infraestructura de datos proporcionada por un tercero, en base a un modelo DaaS.

Consideraciones de modelo hidráulico.

- Disponemos de un modelo hidráulico suficiente para la gestión actual de la operación y planificación de la red de suministro.
- La inclusión de la información procedente de la tele-lectura abre las puertas a un cambio significativo del modelo hidráulico.
- Podemos optar por tres opciones:
 - una actualización y mejora del modelo actual,
 - pasar al nuevo modelo 2.0 en base a desarrollos propios, o
 - por el uso de herramientas proporcionadas por terceros en un modelo SaaS.

Consideraciones de herramientas de gestión de clientes, de gestión en redes y de gestión de obras y servicios.

- Disponemos de herramientas suficientes para la gestión de clientes, la gestión de red y la gestión de obras y servicios, basadas en el modelo actual.
- La introducción de los datos de tele-lectura, de los datos de presiones y caudales en puntos significativos, y la modificación del modelo hidráulico, permite desarrollar nuevas herramientas de analítica de datos que afectan de manera significativa a los sistemas de gestión actuales, por lo que, en su momento, deberá analizarse en qué manera ambos tipos de gestión son complementarios y compatibles, y actuar en consecuencia. Este análisis no se tiene en cuenta en este estudio.

Consideraciones de herramientas de inteligencia de negocio, gestión de activos e imagen corporativa.

- Disponemos de herramientas suficientes para la inteligencia de recursos, gestión de activos e imagen corporativa, basadas en el modelo actual.
- La introducción de los datos de tele-lectura, el nuevo modelo hidráulico (o una adaptación del existente) y otros datos procedentes, tanto de fuentes internas como externas, permite desarrollar nuevas herramientas de analítica de datos que afectan de manera significativa a estos sistemas de inteligencia de negocio, gestión de recursos e imagen corporativa, por lo que, en su momento, deberá analizarse en qué manera ambos tipos de gestión son complementarios y compatibles, y actuar en consecuencia. Este análisis no se tiene en cuenta en este estudio.

- Asumimos que, salvo algunos casos particulares, la empresa no tiene capacidad para diseñar estas herramientas con medios propios, por lo que la única opción a considerar es el empleo de herramientas de terceros, bien:
 - mediante la compra de las mismas (y de sus licencias de uso), o;
 - mediante el uso de herramientas en la nube, en base a un modelo SaaS.

Consideraciones para la integración de un nuevo sistema de gestión e información AMR.

- En los apartados anteriores queda patente que el cambio que se produce en los sistemas de gestión e información, como consecuencia de la transición hacia un operador AMI, son de tal magnitud, que la plena adopción del nuevo modelo no es compatible con el modelo actual.
- El desarrollo de las nuevas herramientas y los cambios que éstas requieren en la infraestructura de la empresa, en los sistemas de almacenamiento y en los modelos de uso, propios de una transformación digital, pueden hacerse siguiendo varias aproximaciones. Las dos aproximaciones extremas son:
 - Aproximación 1: A partir de la infraestructura y el sistema actual, integrar cada nuevo desarrollo en lo ya existente, de manera que éste crezca y se vaya adaptando, a medida que mejoran las capacidades y funcionalidades adquiridas.
 - Aproximación 2: Crear el nuevo sistema ex novo, manteniendo el sistema actual hasta que el nuevo tenga las funcionalidades necesarias suficientemente testadas, como para sustituir al antiguo.

En ambos casos, sobre todo en el segundo, se abre la posibilidad de externalizar una o varias de las actividades (software, datos y/o infraestructura), de manera que el operador pueda seleccionar aque-

llos desarrollos que deben ser propios y optar por emplear recursos externos, eliminando el elevado coste y tiempo requeridos para el desarrollo de herramientas propietarias.

La Aproximación 1 exige un esfuerzo constante de adaptación con cambios frecuentes y de gran trascendencia en las herramientas de uso diario de la operadora. La Aproximación 2, por el contrario, independiza los cambios de la gestión diaria, pero no permite un aprovechamiento de los desarrollos realizados hasta una fase muy avanzada de implantación.

11. Arquitectura del sistema.

La elección de una arquitectura de datos es uno de los factores claves que determinan la eficiencia de los algoritmos (normalmente basados en Inteligencia Artificial) que los utilizan y, en último término la productividad de una empresa. En las empresas de gestión de aguas (*water-utilities*), los datos se han orientado tradicionalmente hacia la gestión de clientes y su facturación. Sin embargo, las nuevas aplicaciones basadas en análisis de datos que facilitan las técnicas de tele-lectura, fuerzan a definir una nueva arquitectura de datos y a diseñar una adaptación no traumática a partir de la situación actual. En este apartado, y en lo que concierne a los datos de tele-lectura, se analizará la estructura actual de datos que mantiene el operador de aguas, se propondrá una arquitectura global de datos a nivel conceptual y se realizará una propuesta para el estudio de detalle que cubra los niveles lógicos y físicos. Igualmente, se definirá, a nivel conceptual, la transición desde la arquitectura existente hasta la arquitectura de datos propuesta.

11.1. Arquitectura propuesta.

Este estudio apuesta por un modelo mixto, que permite obtener las ventajas de las aproximaciones formuladas en el apartado 9.8. En el modelo propuesto se aboga por un funcionamiento independiente de las herramientas actuales, pero con la posibilidad de aprovechar los resultados parciales que se van obteniendo en la implantación del nuevo modelo, de una manera armonizada.

Para ello, se propone que en las primeras fases de transformación se mantenga el sistema de gestión e información actualmente existente y se vayan introduciendo los cambios necesarios para llegar a una arquitectura como la propuesta en la Figura 43 (siguiente página).

11.2. Estrategia de transformación.

La estrategia de transformación propuesta contempla, de una manera estructurada, el conjunto de pasos que se han de seguir para la evolución de nuestra empresa hacia una operadora AMI, asegurando una transición suave desde la situación actual hacia la solución AMI global. Estos pasos son:

- **Paso 1:** Introducción de los datos de la tele-lectura en el sistema actual de la forma más sencilla posible y extracción de los datos más significativos para su gestión por el modelo actual.
- **Paso 2:** Introducción de otros datos, procedente de fuentes internas y externas.
- **Paso 3:** Sensorización suficiente de la red de suministro (es decir, medidas de presión y caudal en puntos significativos de la red), a partir del conocimiento basado en el modelo hidráulico existente. Incluye selección, adquisición, despliegue e introducción de los datos en la red de tele-lectura.
- **Paso 4:** Extensión del modelo hidráulico con los nuevos datos de sensorización. Del modelo hidráulico 1.0 al modelo 2.0.
- **Paso 5:** Introducción de las herramientas básicas de análisis de la operación basadas en el modelo hidráulico extendido (modelo 2.0): gestión de la operación de red y detección de fugas.
- **Paso 6:** Introducción de las herramientas inteligentes de gestión del cliente: participación ciudadana, caracterización de consumos, perfilado de cliente, estimación de consumo excesivos o anómalos, etc.
- **Paso 7:** Introducción de otras herramientas de analítica de datos orientadas a la inteligencia de negocio, gestión de recursos e imagen corporativa.

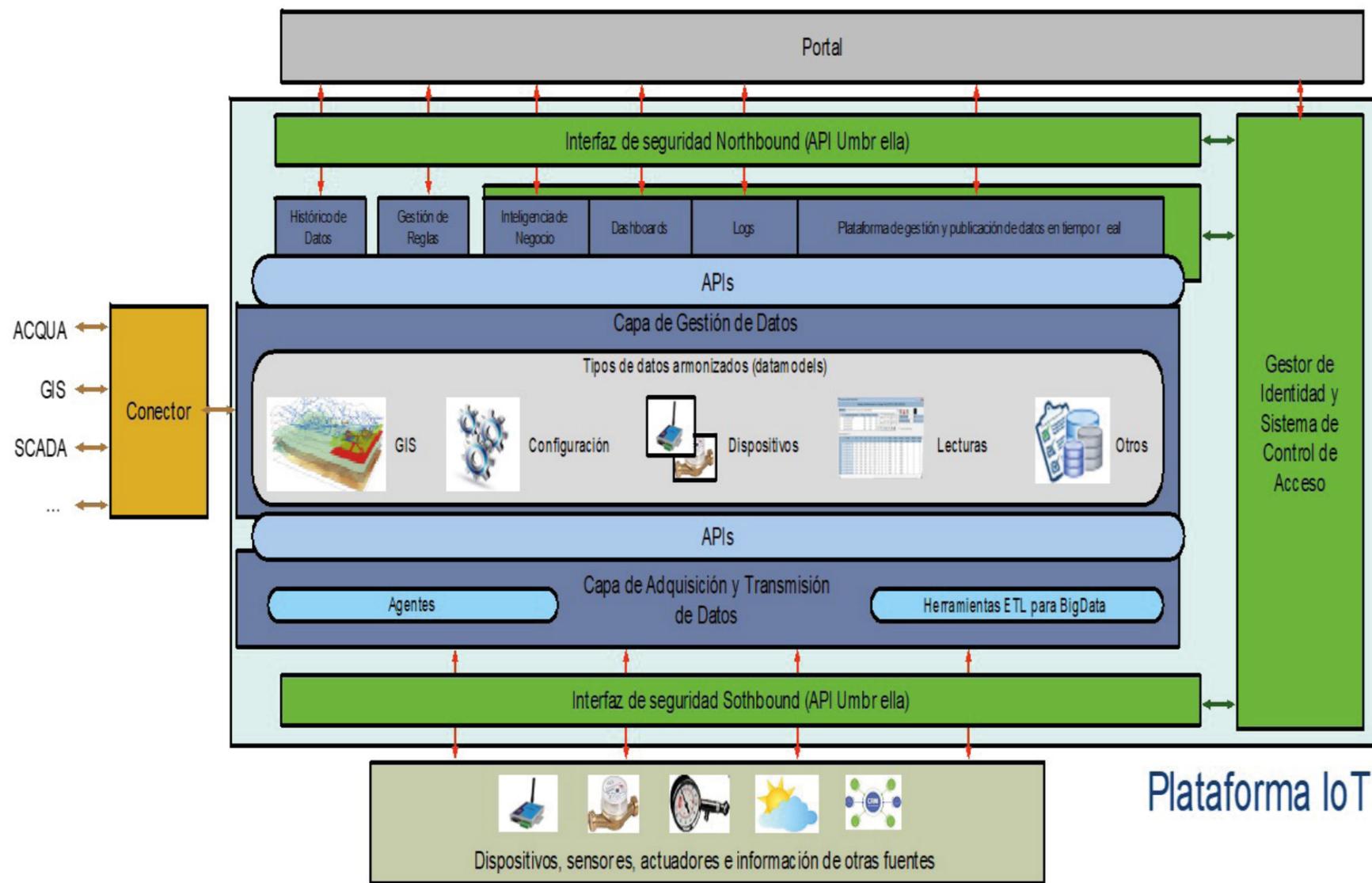


Figura 43. Arquitectura propuesta.

- **Paso 8:** Integración de las nuevas plataformas y herramientas con las herramientas actuales, dentro del nuevo modelo integrado de gestión e información.

En todos los pasos será necesario mantener, actualizar y extender una vertical de cyber-seguridad, que se desarrollará de manera continua dando satisfacción a las necesidades de seguridad de cada uno de los pasos propuestos.

Si bien estos pasos son secuenciales, podemos acometer varios de ellos en paralelo, para acelerar su implantación. La Figura 44 recoge las dependencias temporales y funcionales de los diferentes pasos de la transformación.

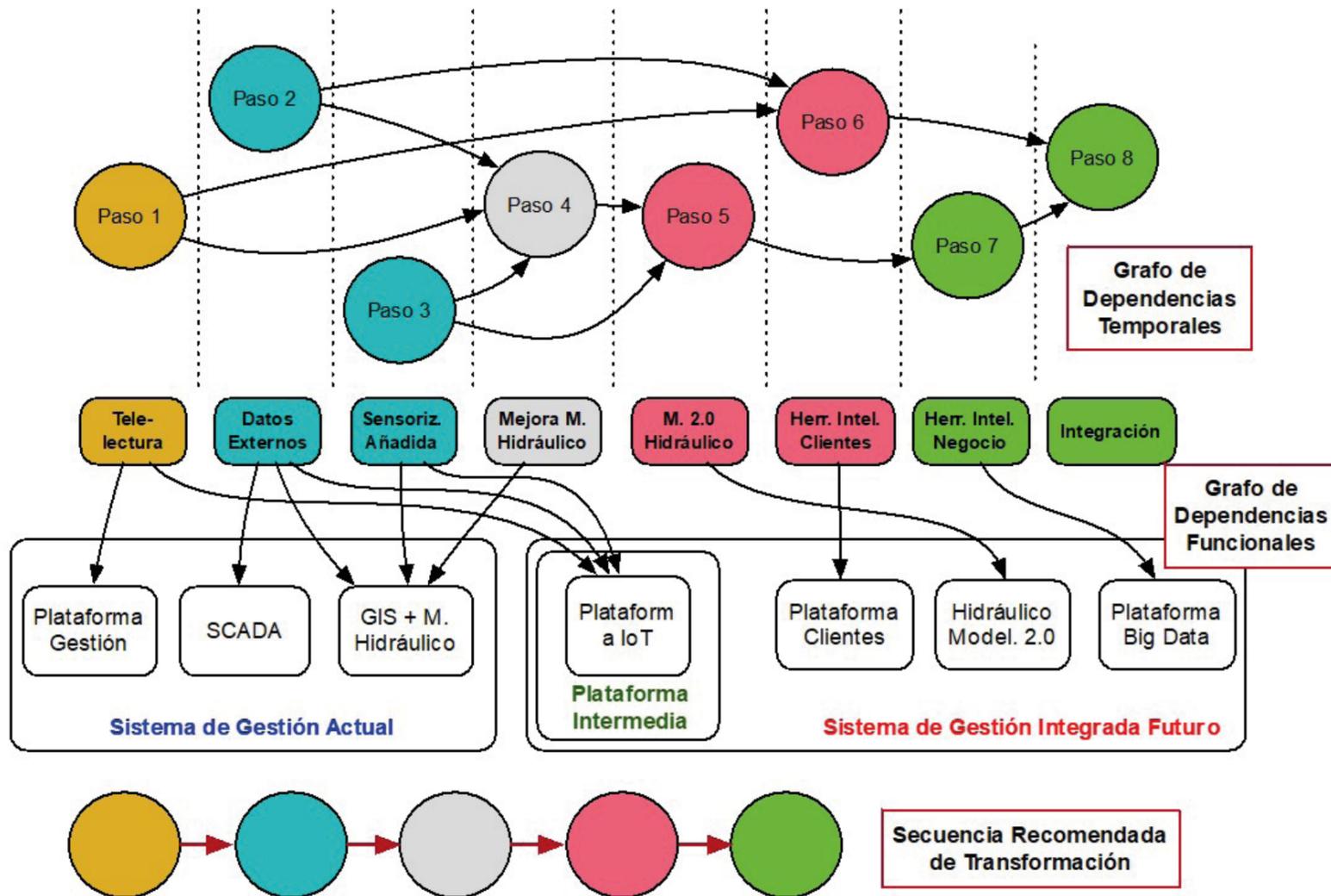


Figura 44. Dependencias temporales y funcionales de transformación, incluyendo la secuencia recomendada.

Se presenta además una secuencia recomendada, que puede abordarse en 3 Fases.

Fase 1. Introducción de los datos de tele-lectura y extracción de los datos para su gestión por el modelo actual.

Objetivos:

- Poner en marcha el sistema AMR (terminales y redes).
- Poner en marcha una plataforma IoT capaz de gestionar el sistema AMR y recoger los datos de la tele-lectura.
- Almacenar los datos de tele-lectura para y realizar los procesos de limpieza y curado de datos.
- Desarrollar un conector que proporcione a los sistemas actuales de gestión los datos de la tele-lectura, sustituyendo a la lectura manual.

Esta actividad consta de tres tareas:

1. Tarea 1.1. Despliegue de la solución AMR.

Despliegue de la solución de tele-lectura (terminales, red de comunicaciones). Esto incluye:

- Selección del modelo de AMR.
- Licitación de tele-lectura.
- Implantación progresiva, a medida que se van sustituyendo los contadores.
- En su caso, desarrollo, e implementación de las herramientas de gestión de AMR en la Plataforma IoT de la Actividad 1.2.
- Esta tarea se detalla en el apartado 7 de este estudio.

2. Tarea 1.2. Instalación de una plataforma IoT basada en fuentes abiertas.

En esta actividad se despliega una plataforma de IoT basada en fuentes abiertas (por ejemplo, NodeCMMU, ThikngSpeak o FiWARE) para la recolección de los datos de tele-lectura. Esto incluye:

- Adquisición y puesta en marcha de la infraestructura (servidores, gestor de almacenamiento) necesaria para la implantación de la plataforma o la contratación de servicios en la nube (IaaS, DaaS).
- Desarrollo de las interfaces de adquisición de las medidas de tele-lectura .
- Desarrollo de las herramientas de limpieza y curado de datos de tele-lectura.

3. TAREA 1.3. Integración de la tele-lectura en la plataforma y conector con el sistema actual de gestión.

- Integración en la plataforma de las herramientas de gestión de AMR de la actividad 1.1.
- Desarrollo de un conector para provisión de datos de tele-lectura al resto de herramientas de gestión e información de nuestra empresa, sustitutiva de las medidas manuales actualmente existente.

En el modelo propuesto, el sistema actual permanece en funcionamiento, sin grandes cambios, a medida que el nuevo modelo se va desarrollando.

Al finalizar esta fase habremos alcanzado la arquitectura del sistema presentada en la Figura 28.

Fase 2. Uso de los datos por el resto de sistemas de gestión e información y transformación parcial de los mismos.

Una vez disponible los datos de tele-lectura, los diferentes departamentos de gestión e información de nuestra empresa analizan la incorporación de las medidas de tele-lectura en sus procesos y operaciones, y realizan las transformaciones necesarias para ello.

A lo largo de esta Fase, la plataforma IoT se mejora y transforma para proporcionar los datos solicitados por el resto de los sistemas. Los datos de la tele-lectura se extraen de la plataforma IoT a partir del conector.

No se considera el desarrollo de esta fase en este estudio.

Fase 3: Integración de la tele-lectura en los sistemas de gestión e información.

En esta fase se integra el sistema de tele-lectura en el sistema de gestión e información del operador de aguas, formando parte integral de las diferentes líneas de negocio.

Para acometer este paso se contaría con la experiencia obtenida en las actividades anteriores.

No se considera el desarrollo de esta fase en este estudio.

12. Conclusiones del Estudio.

Se formulan en este apartado algunas conclusiones del estudio.

Este estudio ha considerado la implantación de la tele-lectura y la transformación que representa la introducción de los datos en los sistemas de una operadora de aguas, centrándonos en el caso de una empresa genérica pública de distribución de agua urbana.

Se han estudiado las diferentes tecnologías de red fija para tele-lectura (apartado 4 del estudio), y se ha hecho una evaluación de las mismas, haciendo recomendaciones basadas en el nivel de integración de la tele-lectura. A continuación, se han propuesto diferentes modelos de operación de la tele-lectura (apartado 5 del estudio).

A partir del conocimiento obtenido de los apartados anteriores, y tras una breve revisión de las soluciones comerciales existentes (apartado 6 del estudio), se han propuesto varias estrategias de implantación (apartado 7 del estudio) haciendo algunas simulaciones, tanto de coste como de alcance temporal, y se han hecho algunas recomendaciones.

Posteriormente, en el apartado 8 de este estudio se ha examinado el impacto de la tele-lectura en el conjunto de actividades de la empresa, mostrando que es una necesidad de la transformación digital de la operadora, y que tiene un impacto muy significativo en todas las ramas de su negocio. Se han discutido las herramientas más significativas de análisis de los datos de la tele-lectura, basadas principalmente en Aprendizaje Máquina (ML) e Inteligencia Artificial (IA).

Conocidas las capacidades finales de la tele-lectura y cómo la misma puede transformar a la operadora de aguas, se han realizado algunas consideraciones respecto a la transformación AMI de la entidad (apartado 9).

Finalmente, en el apartado 10 de este estudio se han propuesto una estrategia de transformación, definiendo un conjunto de 8 pasos necesarios para alcanzar el objetivo propuesto a partir de la situación actual de la operadora de aguas. Igualmente, se ha propuesto una arquitectura de referencia para el sistema resultante de los primeros pasos de transformación, se ha presentado la dependencia temporal y funcional de las diferentes etapas del proceso y se ha propuesto su realización en tres fases.

**Anexo I. Extracto
de ejemplo de pliego de
prescripciones técnicas
particulares para la
modalidad de contratación:
Comunicaciones como servicio.**

Adquisición de contadores de agua y servicio de lectura remota durante 12 años.

“En lo que sigue se presenta un ejemplo de pliego de prescripciones técnicas de suministro de contadores dotados de tele-lectura y la contratación de un servicio de comunicaciones por 12 años, asociado a la vida útil de los contadores. El pliego no incluye la instalación de los contadores. Los modelos de contadores, características metrológicas, dimensiones, materiales, etc., se muestran como ejemplo, pero existen muchas opciones en función de las preferencias del operador de los servicios de aguas.”

A-I.1. Antecedentes.

El objetivo de esta licitación es la adquisición de equipos de tele-lectura (contadores provistos de un modem NBloT). Dichos equipos deben garantizar una vida útil de 12 años, durante los cuales deben proporcionar las medidas de consumo por medio de un servicio de tele-lectura consistente en una red de comunicaciones NBloT con cobertura suficiente en el área donde opera la entidad, y un *middleware* de operación y gestión de los dispositivos que permita interactuar con cada uno de los dispositivos de tele-lectura a lo largo de su vida útil.

Para dar cumplimiento a dicho objetivo, y atender a las obligaciones inherentes a un contrato del sector público, se entiende como mejor solución asociar la adquisición de los equipos al servicio de comunicaciones, para efectuar la tele-lectura durante su vida útil. La fusión de estas prestaciones en un solo contrato es posible porque están íntimamente vinculadas entre sí por una relación de complementariedad, de modo que pueden tratarse como una unidad funcional y, además, satisfacen una necesidad propia de la operadora de aguas.

De licitarse separadamente el suministro de contadores y el servicio de tele-lectura, respecto a este último y dada la limitación impuesta a la duración de los contratos de servicio como norma general a cinco años, podría no garantizarse que el servicio de comunicaciones proporcione las lecturas durante toda la vida útil del equipo, o que las responsabilidades entre el suministrador de equipos y el proveedor del servicio de comunicaciones se cruzaran de forma confusa. En tal caso, no se tendrían herramientas suficientes para discernir la causa de un fallo en la provisión de los datos, ni el impacto que el mismo pudiera tener en el servicio de tele-lectura en toda la vida útil del equipo, dado que la operadora:

1. No puede realizar las pruebas de autonomía a la recepción de los equipos de forma inequívoca y suficiente, ya que esa prueba es destructiva. La realización de estas pruebas, de forma inequívoca y suficiente para cada equipo, sería económicamente inasumible para la entidad que tuviera que realizarlas: ya sea la operadora o la empresa suministradora. Téngase en cuenta además que, en la autonomía del equipo intervienen, entre otros factores, la temperatura y humedad del entorno de trabajo y el envejecimiento de las baterías y de los componentes electrónicos. Y lo que es más importante, la autonomía del equipo depende de manera decisiva de la cobertura NBloT proporcionada a cada equipo y del uso que el *middleware* de operación y gestión del dispositivo realiza del mismo.
2. No puede monitorizar de manera precisa el tiempo ni el consumo que realiza el equipo cuando permanece en un estado activo de consumo, ya sea realizando tareas internas del propio equipo, recibiendo o esperando recibir una trama, transmitiendo o repitiendo la transmisión de una trama, realizando labores de metrología, u otro tipo de actividad. Tampoco puede monitorizar de manera suficiente el funcionamiento del *middleware* de operación y gestión que pudiera conducir a un intercambio excesivo e injustificado de tramas desde o hacia el equipo. Tampoco puede monitorizar de manera precisa el consumo debido a la indisponibilidad de la red de comunicaciones (fallo de cobertura, fallo del servicio de operador, mala calidad del enlace, rechazos de red debido a un excesivo número de suscriptores, fallos en la operación de red, etc.). Ni qué decir tiene respecto a monitorizar los problemas de autonomía que pudieran derivarse de una incorrecta, incluso fallida, operación y gestión de los procesos de FOTA o de un cambio de perfil de la eSIM, procesos todos ellos que pueden afectar muy negativamente a la vida útil del equipo.

De este modo, los adjudicatarios adquieren el

compromiso de proporcionar, como mínimo, una determinada tasa de lecturas de contadores respecto del número máximo de lecturas horarias que podría alcanzarse en un caso ideal, exento de fallos, y durante toda la vida útil de los equipos. Esa garantía de servicio es ineludible en esta licitación y es característica diferenciadora de la misma respecto de otras licitaciones de tele-lectura que han sido publicadas por otras entidades contratantes del sector del ciclo integral del agua. Por tanto, la garantía en la provisión de los datos de tele-lectura durante toda la vida útil del equipo obliga de manera imprescindible a que el servicio de tele-lectura esté asociado al suministro y amortización del equipo y que este servicio tenga la misma duración que la correspondiente a la vida útil del equipo.

El presente contrato puede ser objeto de cofinanciación con fondos europeos de desarrollo regional FEDER o con del Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia (PRTR). En tal caso, y si en el marco de la verificación el cumplimiento de requisitos asociados al fondo, la operadora fuera requerida por la autoridad responsable para adoptar medidas correctoras, ya sea para adaptarse a las obligaciones derivadas del etiquetado verde y digital como para corregir desviaciones del principio de no causar un daño significativo, el contratista quedará obligado a implementar dichas exigencias en los productos y servicios suministrados.

En tal caso, y si en el marco de la verificación el cumplimiento de requisitos asociados al fondo la operadora de aguas fuera requerida por la autoridad responsable para adoptar medidas correctoras, ya sea las obligaciones derivadas del etiquetado verde y digital como para corregir desviaciones del principio de no causar un daño significativo, el contratista suscribirá la correspondiente adenda al contrato en los extremos que fueran necesarios, y siempre de conformidad con lo ordenado por la citada autoridad responsable.

A-I.2. Objeto del contrato.

El objeto del contrato es el suministro de contadores de agua y el servicio de conectividad asociado.

El presente contrato consta de un único lote. Consiste en el suministro (incluyendo su sustitución en caso de avería) de contadores de agua en distintas versiones (de pequeño calibre y de gran calibre con el servicio de tele-lectura asociado):

- **Lote Único (L1):** el suministro de contadores de agua con tele-lectura basada en el protocolo inalámbrico NB-IoT, que precisa la operadora de los servicios de agua y cuyas características técnicas se especifican en el presente pliego, así como los servicios de telecomunicaciones (conectividad) que permitan dicha tele-lectura durante el tiempo previsto en este pliego.

A-I.3. Normativa de aplicación.

A los contadores objeto de este pliego les será de aplicación la normativa que esté en vigor en cada momento, que con carácter no exhaustivo ni excluyente se relaciona a continuación:

- RD 244/2016, de 3 de junio, por el que se regula el control metrológico del Estado sobre instrumentos de medida.
- Orden ICT/155/2020, de 7 de febrero, por la que se regula el control metrológico del Estado de determinados instrumentos de medida.
- RD 140/2003 de 7 de febrero, por el que se establecen los criterios sanitarios de la calidad del agua de consumo humano y Reglamento (UE) N° 305/2011, en lo relativo a materiales susceptibles de entrar en contacto con agua para el consumo humano (Apartado 5.4.3).
- Decreto 120/1991, de 11 de junio, (BOJA 10 de septiembre de 1991) por el que se aprueba el Reglamento del Suministro Domiciliario de Agua, modificado por Decreto 327/2012 de 10 de julio (en adelante, RSDA).
- Norma UNE-EN-ISO-4064, Contadores de agua para agua fría potable y agua caliente.
- Norma EN-ISO-228-1. Roscas de tuberías para uniones sin estanquidad en la rosca. Parte 1: Medidas, tolerancias y designación.

- Norma ISO 7005. “Pipe flanges”.
- Norma UNE-82326. Protocolo de comunicación para lectura de dispositivos de contadores de agua y otros dispositivos de medida o control de instalaciones de agua.

Todos los dispositivos electrónicos de este pliego deberán poseer marcado CE y cumplir con los requerimientos legales exigidos que sean de aplicación y, específicamente, los de las siguientes directivas:

- Directiva RED (2014/53/EU).
- Directiva RoHS (2011/65/EU).

A-I.4. Expresiones convenidas/ definiciones.

A-I.4.1. Arquitectura del sistema de tele-lectura de la operadora.

La figura 45 sirve como arquitectura de referencia del sistema de Tele-lectura utilizada en este pliego.

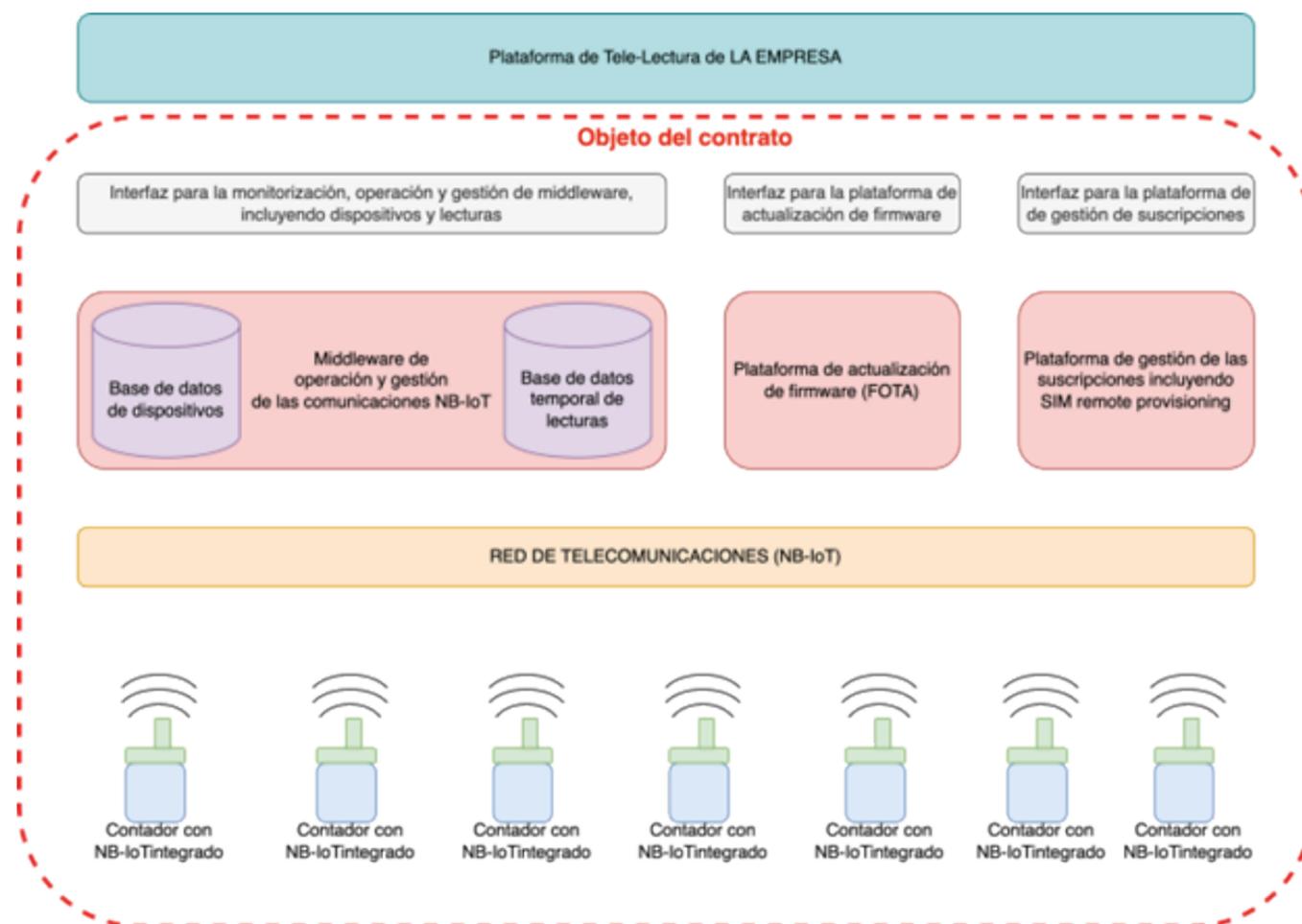


Figura 45. Arquitectura del Sistema de Tele-lectura de contadores de la operadora.

A-I.4.2. Definiciones generales.

A-I.4.2.1. Definición general de un contador de agua con comunicación integrada NB-IoT para el Lote LI.

A efectos del presente procedimiento, se considerarán **contadores de agua con comunicación integrada NB-IoT** todos aquellos que, independientemente de la forma en que se capte el flujo de agua que atraviesa el contador, integren la electrónica necesaria que permita la transmisión inalámbrica de la información del contador a través de la tecnología de comunicación *3GPP Narrow Band-Internet of Things* (NB-IoT). **No se admitirá un sistema de comunicaciones basado en un dispositivo adicional al contador tipo clip-on o pasarela, aceptándose únicamente soluciones integradas en el interior del contador.**

Esta electrónica deberá realizar, de acuerdo a una calendarización previa, una lectura de los registros de interés del contador y su envío, mediante un sistema de comunicaciones inalámbrico en tecnología 3GPP NB-IoT, a un sistema de información o *middleware* de operación donde se realice la persistencia de la información.

Dicha electrónica deberá ser capaz, además, de capturar y remitir al *middleware* ciertos parámetros técnicos de funcionamiento (nivel y calidad de señal NB-IoT, tiempo de funcionamiento, etc.) que permitan a la operadora la monitorización y supervisión remota del funcionamiento general del sistema.

El adjudicatario proporcionará las interfaces que permitan acceder a dos bases de datos: una que contenga las lecturas de los contadores y otra que contiene la información de los dispositivos, incluyendo los parámetros asociados a las comunicaciones.

El contador de agua con comunicación integrada NB-IoT tiene un funcionamiento autónomo, llevando incorporadas dentro de su envoltorio las baterías necesarias para su funcionamiento durante toda la duración prevista en este pliego.

A-I.5. Requisitos técnicos.

A-I.5.1. Requisitos técnicos mínimos requeridos.

A-I.5.1.1. Especificaciones técnicas de los materiales de los contadores.

Los contadores ofertados deberán estar fabricados con materiales que garanticen una resistencia y estabilidad adecuadas para su uso con agua apta para el consumo humano, debiendo cumplir con los requisitos indicados en el “Apartado A-I.5.4.2. Materiales en contacto con agua potable”, del presente pliego.

Igualmente, las variaciones de temperatura del agua no deberán alterar las propiedades de los materiales de fabricación, siempre que se produzcan dentro del campo de la temperatura de servicio establecido en la correspondiente declaración de conformidad, ni deberán introducir alteraciones en las características de las aguas suministradas por la operadora de aguas.

En cualquier caso, los materiales constitutivos de los contadores ofertados cumplirán la legislación vigente en cada momento.

Los adjudicatarios deberán aportar los certificados de conformidad sanitaria para los modelos ofertados.

A-I.5.1.2. Dimensiones y requisitos de instalación de los contadores.

Los contadores objeto de este Pliego han de ser intercambiables con los que en la actualidad utiliza la operadora de aguas; para lo cual, sus dimensiones en lo que se refiere a alturas, longitudes y pasos de rosca, deberán adaptarse a las características que se señalan en el siguiente cuadro:

Q3 (m ³ /h)	Longitud (mm)	Conexiones (Medida y Tipos)		Lectura (Rango Mínimo)
2,5	115	7/8" - 3/4"		
2,5	190	3/4"		
2,5	110-115	1"	Rosca Gas	0'0001/10.000 m ³
4	190	1"		
10	260	1 1/2"		
16	300	2"		
25	200-300			
40	200-300	4 Taladros		0'001/1.000.000 m ³
63	200-350			
100	250			
250	300	8 Taladros	Brida según PN 16	
400	350			0'01/10.000.000 m ³
630	450	12 Taladros		

Respecto al rango mínimo de lectura que se muestra en el *display*, se admite que este sea de 1 litro, siempre y cuando se pueda pasar a un modo de testeo y que éste muestre el escalón de verificación al menos de 0,1 litros y que dicha operación esté contemplada en la aprobación de modelo del instrumento. El paso a modo test y la salida de este se debe realizar mediante el uso de software (el cual deben entregar junto al manual de uso del mismo) y no debe afectar a los parámetros metrológicos del contador ni debe alterar los volúmenes registrados hasta la fecha.

En contadores con conexión brida, se admiten suplementos para alcanzar la longitud requerida. Dichas bridas serán de acero inoxidable AISI-316 y deben ser facilitadas con los contadores a su entrega, sin sobre coste alguno para la operadora de aguas.

Las conexiones deben cumplir con la normativa siguiente: para conexiones por rosca, la norma EN ISO 228-1, Clase B, y para bridas, la norma ISO 7005, según la presión nominal del contador.

La altura máxima de los contadores, excluida la tapadera superior si la tuviesen, no sobrepasarán las medidas que se señalan a continuación:

Q_3 (m ³ /h)	Altura máxima (mm)
Hasta 4	125
De 6,3 a 16	150
De 25 a 63	250
De 100 a 250	300
De 400 a 630	350

La altura (H) indicada en el cuadro anterior será tomada desde el eje del contador hasta la parte superior del mismo (Figura 46), siendo el eje del contador el que discurre longitudinalmente entre los centros de las bocas del contador, rosca o brida.

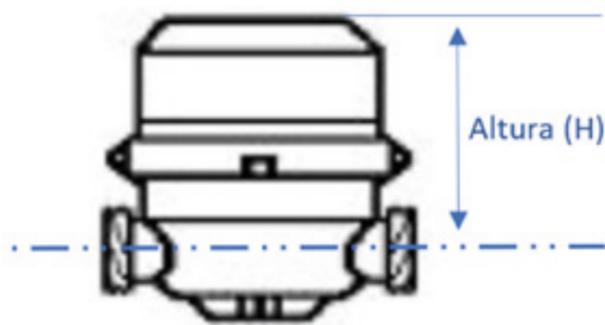


Figura 46. Altura máxima de los contadores, excluida la tapadera superior si la tuviesen.

Los contadores ofertados deben tener la suficiente resistencia al objeto de evitar posibles roturas, fugas, manipulaciones y fraudes en su mecanismo y sus circuitos internos. En su caso, deberán llevar los dispositivos de protección necesarios para evidenciar manipulaciones.

Los contadores ofertados dispondrán de orificios, taladros o sistemas precintables adecuados, sobre el cuerpo, que garanticen la imposibilidad de manipular, sin acusarlo, los mecanismos interiores, el exterior de regulación y el levantamiento del contador una vez instalado. En el caso de taladro u orificio, el diámetro mínimo será de 2 mm y deberá estar situado sobre el cuerpo del contador.

Los contadores deberán permitir el giro de la esfera donde se encuentra el display (pantalla) indicador de la lectura o en su defecto permitir diferentes montajes en el proceso de fabricación, sin sobre coste alguno para la operadora de aguas con independencia del número de unidades que se demanden.

Todos los contadores deberán cumplir los siguientes requisitos, con carácter no exhaustivo, contenidos en el RD 244/2016 Θ y la norma UNE-EN-ISO-4064:

- Grado de protección contra el agua y el polvo IP68.
- Entorno electromagnético, clase E1.
- Entorno Mecánico M1.
- Temperatura del agua T30.
- La pérdida de presión máxima no debe superar 0.63 bar a Q_3 .

La identificación (Nº serie) de los contadores constará como máximo de **9 (nueve) dígitos** que pueden ser alfanuméricos, marcados estos sobre el contador o carcasa, siendo esta identificación independiente al resto de inscripciones que posea el contador.

A-I.5.1.3. Características metrológicas de los contadores.

Los contadores objeto de este pliego se atenderán a lo dispuesto en el RD 244/2016, de 3 de junio, por el que se regula el control metrológico del Estado sobre instrumentos de medida, así como a la Orden ICT/155/2020, de 7 de febrero, por la que se regula el control metrológico del Estado de determinados instrumentos de medida. **De igual forma se deberán ajustar a su normativa de desarrollo y a las sucesivas modificaciones legales que sobre instrumentos de medida puedan ir apareciendo.**

Todos los contadores deberán tener la autonomía mínima que se define en el punto 5.1.4 de este Pliego.

El ratio (relación entre Q_3 y Q_1 según UNE-EN-ISO-4064) será, como mínimo, de 200 en posición horizontal.

Todos los contadores presentarán una inmunidad a campos magnéticos estáticos aplicados externamente, al menos hasta una intensidad de campo magnético de 450 kA/m. Esta inmunidad deberá ser certificada por una entidad externa especializada en la realización de ensayos de campos magnéticos.

El error medio ponderado (EMP) no debe sobrepasar el $\pm 1\%$. Para la determinación de este EMP se tendrán en cuenta las curvas de consumos clasificados que se describen en el “Apartado A-I.5.4.2. Curvas de consumos clasificados” de este Pliego.

Los contadores deberán comportarse al envejecimiento de tal forma que los porcentajes de error después de las pruebas de envejecimiento estén siempre dentro de los límites legalmente establecidos (según RSDA).

Todos los contadores ofertados deben ser U0/DO según especificaciones de la norma UNE-EN-ISO-4064.

A-I.5.1.4. Especificaciones de autonomía.

A-I.5.1.4.1. Autonomía de los contadores con comunicación integrada NB-IoT.

El contador deberá asegurar la autonomía (vida de batería) mínima de 12 (DOCE) años. El caso de uso que corresponde a esta autonomía comprende:

1. su puesta en servicio,
2. la gestión y operación de las comunicaciones NB-IoT a través del *middleware* de operación,
3. las actualizaciones de *firmware* remotas que fueran propuestas por el adjudicatario y aprobadas por la operadora de aguas, así como las conexiones de servicio al *middleware* que las gestione, según se indica en el “Apartado A-I.5.1.5.4. Actualización remota del *firmware*” de este pliego,

4. el siguiente patrón de lecturas (según se indica en el “Apartado A-I.5.2.1. Modos de operación” de este pliego):

- a) una lectura horaria del contador,
- b) una ventana de transmisión diaria de las 24 lecturas horarias realizadas,
- c) un máximo de 90 (noventa) lecturas del contador y 90 (noventa) ventanas de transmisión adicionales en toda la vida útil del dispositivo, de uno de los siguientes tipos:
 - a) hasta 7 (siete) ventanas diarias de lectura programada adicionales,
 - b) hasta 7 (siete) ventanas diarias de transmisión programada adicionales,
 - c) hasta 5 (cinco) ventanas diarias de lectura y transmisión de las lecturas realizadas a demanda presencial,

5. un cambio de perfiles eSIM que posibilite un cambio de operador NB-IoT, según se indica en el “Apartado. 5.3.4. Portabilidad entre distintos operadores del servicio de conectividad” de este Pliego.

A-I.5.1.4.2. Mecanismos de optimización de la autonomía en las comunicaciones NB-IoT.

La infraestructura de telecomunicaciones móviles 3GPP NB-IoT que emplee el equipo debe disponer del mecanismo Early Release (*Release Assistance*) y de la posibilidad de activación de las capacidades eDRX y PSM. Los valores de los temporizadores T3324 y T3412 habrán sido definidos por el adjudicatario en su oferta, empleando una estrategia de optimización para maximizar la autonomía de la batería del equipo, tanto para los ensayos de las muestras presentadas al procedimiento, como para los equipos suministrados durante la vida del contrato. De igual modo, el adjudicatario habrá comunicado en su oferta los valores de los temporizadores que va a utilizar. En cualquier caso, durante la vida del contrato, cualquier cambio en los valores de los temporizadores respecto de los facilitados para los ensayos de este procedimiento deberá ser comunicado previamente a la operadora de aguas.

Se garantizará la autonomía especificada en el “Apartado 5.1.4. Especificaciones de autonomía” de este Pliego, tanto para los ensayos de la muestra presentada al procedimiento como para los equipos suministrados durante la vida del contrato en caso de resultar adjudicatario.

El adjudicatario habrá facilitado en su oferta técnica la metodología de cálculo de la autonomía de la batería de los equipos, incluyendo los parámetros de ingeniería de la red de comunicaciones que se han utilizado en dicho cálculo: valores de los temporizadores T3324 y T3412, niveles de RSRP y RSRQ, latencias medias, capacidad de la pila, número de pilas instaladas en el equipo, tasa de autodescarga, etc.

En el caso en que el adjudicatario propusiera el despliegue de un nuevo *firmware* que utilizara nuevos parámetros de configuración en las comunicaciones entre el equipo y el *middleware* de operación, el adjudicatario detallará, durante la tramitación de la autorización correspondiente para su despliegue, los nuevos parámetros de configuración y los valores que empleará para los mismos, indicando cómo afectan a la autonomía del dispositivo. Una vez autorizada la actualización y realizado el despliegue, cualquier cambio en los valores de estos nuevos parámetros de configuración, respecto de los facilitados durante el proceso de autorización, deberá ser comunicado previamente a la operadora de aguas.

El despliegue de un nuevo *firmware* no modifica los compromisos de autonomía de los equipos definidos en el “Apartado 5.1.4. Especificaciones de autonomía” de este pliego.

El adjudicatario emitirá un informe mensual con la estimación de la autonomía restante de las baterías de cada uno de los equipos. Dicho informe deberá contener la estimación de la vida útil de la batería, el nivel de señal recibido por el modem en dBm, el método de funcionamiento mayoritario en las transmisiones de ese mes (CE0, CE1 o CE2), valores de los temporizadores T3324 y T3412, niveles de RSRP y RSRQ, latencias medias, capacidad de la pila, número de pilas instaladas en el equipo, tasa de autodescarga, etc. El adjudicatario entregará en dicho informe mensual el método de cálculo de la misma en función de los parámetros anteriormente descritos y un plan de contingencia para aquellos dispositivos cuya vida útil se vea comprometida.

A-I.5.1.5. Sistema de comunicaciones NB-IoT.

A-I.5.1.5.1. Modem NB-IoT.

El equipo dispondrá de un módem NB-IoT que implemente las especificaciones del estándar 3GPP NB1 Release versión 13 o superior. En cualquier caso, el adjudicatario deberá disponer del compromiso del proveedor del módem de soporte de actualización a *Release* versión 14 durante los dos primeros años de duración del contrato, caso de que el modem propuesto no implemente la Release 14 en el momento de la licitación. Este módem deberá estar homologado o certificado para su uso por al menos dos operadores comerciales de redes NB-IoT del mercado español. Deberá trabajar al menos en bandas 8 (900 MHz) y 20 (800 MHz) y en cualquiera de los escenarios de despliegue de esta tecnología de comunicaciones (*in band*, *guard band* o *standalone*).

Este módem deberá poseer, al menos, las siguientes características:

- Capacidad de actualización remota de su *firmware* (FOTA).
- Capacidad de empleo de mecanismo *Early Release (Release Assistance)*.
- Posibilidad de captura de métricas y parámetros de la red NB-IoT (RSRP, RSRQ, SNR, ECL, CellID).
- MCL (*Maximum Coupling Loss*) de 164 dB al menos.
- Ajuste, mediante los comandos AT correspondientes, de los parámetros de las funcionalidades PSM y eDRX de la tecnología NB-IoT.
- Soporte de eSIM y de la capacidad de M2M Remote SIM Provisioning de acuerdo a lo especificado por el GSMA en el estándar SGP.02 v3.2 o superior.

La antena del equipo deberá ser interna a la envolvente. El diseño del equipo deberá evitar que desde el exterior se pueda inferir la ubicación exacta de la antena

en el mismo. La antena deberá poseer un diagrama de radiación omnidireccional.

El módem no estará ligado a un operador de comunicaciones móviles concreto; por el contrario, permitirá el uso de cualquier operador de comunicaciones comercial NB-IoT, mediante la parametrización adecuada y la presencia de la suscripción activa correspondiente.

En cualquier caso, el contador deberá asegurar un correcto aislamiento entre el subsistema de comunicación NB-IoT y el subsistema metrológico del equipo de medida, tanto a nivel lógico (distintos *firmwares*) como físico (distintos componentes electrónicos) de forma que una posible actualización del subsistema de comunicaciones no pueda afectar al comportamiento metrológico del contador.

A-I.5.1.5.2. eSIM.

La suscripción de datos debe proporcionarse integrada dentro de una eSIM que deberá ser suministrada e instalada dentro del equipo en el momento de que éste sea suministrado.

La eSIM proporcionada, en conjunción con el resto de los elementos del subsistema de comunicaciones NB-IoT, deberá posibilitar el cambio de operador de comunicaciones de forma remota de acuerdo a lo especificado por el GSMA en el estándar SGP.02 v3.2 o superior.

A-I.5.1.5.3. Plataforma de gestión de suscripciones.

El adjudicatario deberá proporcionar a la operadora de aguas una interfaz con la plataforma de gestión de suscripciones del operador seleccionado, mediante la cual la operadora pueda conocer el tipo de suscripción que se encuentra activa en el equipo, el estado de la misma y los consumos de datos realizados por cada equipo.

En el caso en que sea necesario realizar un cambio de suscripción, el adjudicatario presentará la propuesta correspondiente a la operadora de aguas con la justificación adecuada. El cambio, no podrá producirse hasta su autorización por la entidad, la cual, podrá en todo momento, conocer, a través de la interfaz con la platafor-

ma de gestión de suscripciones, el estado del proceso de cambio para cada uno de los equipos.

El adjudicatario proporcionará a la operadora información detallada de los protocolos de esta interfaz, a fin de que la entidad o un tercero en quien ésta delegue, pueda desarrollar la parte de la interfaz correspondiente a la plataforma de tele-lectura.

A-I.5.1.5.4. Actualización remota del *firmware*.

El subsistema de comunicaciones NB-IoT del equipo deberá poder actualizar de manera remota (FOTA) su programa de control (*firmware*), bien para la corrección de errores, bien para la incorporación de nuevas capacidades funcionales.

Para ello, el adjudicatario dispondrá de una plataforma software que permita la gestión del despliegue de nuevas versiones. Será admisible que la conexión del equipo a la plataforma de actualización se realice ordenada por el *middleware* de operación o mediante conexiones de servicio periódicas pre-programadas a la plataforma de actualización. El adjudicatario habrá especificado en su oferta la arquitectura técnica y el *workflow* de operaciones que implica este mecanismo de actualización, así como las características principales de la plataforma de actualización remota.

De manera específica se detallará también el impacto que el proceso de actualización tiene sobre:

- las operaciones normales de lectura y volcado de información que el equipo realiza, buscando que este impacto sea mínimo y
- la autonomía del equipo.

La plataforma de despliegue deberá poder permitir, al menos, la creación de grupos de equipos objetivo de actualización y la posibilidad de implantar planes de despliegue graduales de nuevas versiones de *firmware*. Con independencia de la solución técnica que sea propuesta por el adjudicatario, todo despliegue de nuevas versiones de *firmware* deberá ser previamente autorizado por la operadora de aguas. De la misma manera, una vez descargado el nuevo *firmware* en los equipos, la actualización deberá ser autorizada por la entidad, de manera expresa, el momento en que dicha actualización se hace efectiva.

Durante toda la duración del contrato, el adjudicatario se compromete a poner a disposición de la operadora cualquier nueva versión del *firmware* del programa de control del equipo, facilitando a la operadora la documentación que recoja las mejoras funcionales, de eficiencia y rendimiento del equipo que incorpore la nueva versión. En ningún caso, esto supondrá modificación o revisión de los precios ofertados por los equipos. La operadora analizará las ventajas que la nueva versión aporte, determinando la procedencia o no del despliegue de la nueva versión de *firmware* tanto en los equipos que ya estén instalados en campo como los que aún estén pendientes de suministrar.

El adjudicatario deberá poner a disposición de la operadora una interfaz con la herramienta de actualización de *firmware* del equipo, de manera que la operadora pueda conocer en todo momento el estado del proceso de despliegue. Para ello, el adjudicatario proporcionará a la operadora información detallada del protocolo de esta interfaz, de manera que ésta o un tercero, en quien ésta delegue, pueda implementar la parte correspondiente del protocolo en la plataforma de tele-lectura.

En cualquier caso, la actualización de *firmware* se limitará al correspondiente al propio subsistema de comunicaciones, sin afectar a las características metrológicas del contador.

A-I.5.1.5.5. Autenticación y seguridad en las comunicaciones.

Cada equipo dispondrá de unas credenciales propias para autenticar su conexión al *middleware* de operación. Es responsabilidad del adjudicatario garantizar la seguridad en las comunicaciones entre el equipo y éste.

El adjudicatario incluirá una descripción suficiente de los algoritmos, técnicas y estándares de seguridad que se emplearán en las comunicaciones NB-IoT.

A-I.5.1.6. Subsistema de lectura y memoria interna.

A-I.5.1.6.1. Reloj interno RTC.

El equipo dispondrá de un reloj de tiempo real con el que planificar las lecturas calendarizadas. Este reloj deberá poder ser sincronizado con una fuente de reloj externa en cada conexión del equipo al *middleware* de operación, asumiendo una sincronización mínima diaria. Se admitirá un desplazamiento máximo de reloj de 15 s entre el reloj RTC del equipo y la hora oficial.

El reloj del equipo trabajará en hora UTC. Los registros leídos de cada contador se marcarán con la fecha y hora del equipo en el momento de su captura, siendo ésta informada posteriormente al *middleware* durante la transmisión.

A-I.5.1.6.2. Lectura a demanda mediante interacción presencial.

El equipo deberá disponer de un elemento tipo interruptor que permita el inicio de un ciclo de lectura y transmisión inmediata de la información hacia el *middleware* de operación y gestión sin necesidad de apertura de la envolvente, ni pulsación, ni movimiento mecánico de ningún elemento situada sobre esta. Una posibilidad puede ser el empleo de un interruptor de tipo *reed*, activado por campo magnético, aunque el adjudicatario podrá optar por cualquier solución técnica alternativa que proporcione esta misma característica funcional.

Este tipo de activación presencial podrá ser habilitada o inhabilitada de manera remota tal y como se indica en el “Apartado A-I.5.2.1. Modos de operación” de este pliego.

A-I.5.1.6.3. Memoria interna.

El equipo deberá disponer de una memoria interna que permita el almacenamiento temporal de los registros capturados por los contadores en el caso de que:

- El equipo no haya podido completar su volcado en el *middleware* de operación por cualquier tipo de incidencia técnica en una ventana de transmisión dada.
- El ciclo de lectura del contador no implique una transmisión inmediata de la información y deba esperarse a una ventana de transmisión de información.

Esta memoria de tipo no volátil deberá disponer del tamaño suficiente para el almacenamiento temporal de un mínimo de 800 lecturas o información de tamaño equivalente. Además, deberá disponer de un mecanismo de autopurgado, de forma que se almacenen exclusivamente los últimos veinte días de lecturas horarias.

El comportamiento de la memoria interna tiene que seguir una estrategia LIFO.

A-I.5.1.6.4. Señalización del proceso de lectura y volcado de la información.

El contador deberá mostrar en su pantalla algún tipo de símbolo que indique que el sistema de comunicaciones está transmitiendo. Este indicador se activará cuando el contador intente iniciar una sesión de datos con el *middleware* de operación, volviéndose a desactivar el indicador cuando finalice la sesión de datos, independientemente de que ésta haya sido exitosa o no.

A-I.5.1.7. Middleware de operación y gestión de las comunicaciones e interfaz con la plataforma de tele-lectura de la operadora de aguas.

A-I.5.1.7.1. Bases de datos del *middleware* de operación y gestión de las comunicaciones NB-IoT.

El *middleware* de operación y gestión de las comunicaciones mantendrá dos bases de datos internas, una de dispositivos y otra, temporal, de lecturas.

A-I.5.1.7.1.1. La base de datos de dispositivos.

La base de datos de dispositivos contendrá toda la información necesaria para la gestión y operación de los equipos, incluyendo, entre otros,

- identificador, tipo de equipo y fecha de la última puesta en servicio,
- localización,
- valores de los parámetros del subsistema de telecomunicaciones (incluyendo los de las funcionalidades PSM y eDRX),
- estimación del consumo realizado por el equipo desde la instalación de la batería,
- así como todos los parámetros técnicos de operación enunciados en el “Apartado A-I.5.2.2. Parámetros técnicos de operación del equipo” de este pliego.

Esta base de datos será mantenida por el adjudicatario durante todo el tiempo de vida útil del contrato. Se incluirá también un registro histórico con todas las variaciones que se hayan producido en la base de datos de dispositivos, que empezará desde el mismo instante de comienzo del servicio de telecomunicaciones.

La base de datos de dispositivos (incluyendo el registro de históricos) estará disponible para su consulta y descarga desde la operadora de servicios de aguas o desde un tercero en quien ésta delegue el servicio de telecomunicaciones hasta tres meses después de la finalización del contrato.

A-I.5.1.7.1.2. La base de datos de lecturas.

La base de datos de lecturas contendrá el volcado de las lecturas datadas recogidas desde los contadores, incluyendo el marcado de fecha de captura de los registros y el motivo del envío, indicando el tipo de lectura (ventana de transmisión programada u ordenada por interacción presencial). En cuanto a los datos de lectura de los contadores, el *middleware* entregará en todos los casos la trama A+ de lectura completa, sin procesar.

Los datos de lectura deben estar disponibles en la base de datos del *middleware* de operación para su lectura por la plataforma de tele-lectura a través de la interfaz correspondiente, a través de la cual indicará el *middleware*, en su caso, la disponibilidad del dato.

La base de datos de lectura tendrá un carácter temporal. La caducidad del dato se producirá tres meses después de la indicación correspondiente de dato disponible, siguiendo el proceso que se describe en el párrafo siguiente.

Con independencia de la indicación individual (o por grupos) de dato(s) disponible(s) descrita en el párrafo anterior, el adjudicatario notificará a la plataforma de tele-lectura de la operadora con periodicidad diaria la lista de nuevos datos que hayan sido puestos a disposición de ésta, incluyendo el día en que estos datos expirarán en la base de datos de lectura. También se notificará la lista de datos cuya caducidad expira en 24 horas. Esta notificación deberá ser aceptada por la plataforma de tele-lectura en el plazo máximo de 48 horas. Los datos no podrán ser eliminados de la base de datos de lectura hasta que la notificación correspondiente no haya sido aceptada por la plataforma de tele-lectura o hasta que haya transcurrido el plazo máximo de aceptación.

No se almacenarán históricos de esta base de datos. Es más, una vez eliminados los datos de la base de datos de lectura, el adjudicatario deberá garantizar que no se mantiene en sus servidores traza alguna de los mismos.

A-I.5.1.7.2. Operación y gestión de las comunicaciones NB-IoT.

Es responsabilidad del adjudicatario la operación y gestión de las comunicaciones entre el equipo y el *middleware* de operación y gestión de las comunicaciones NB-IoT, así como el mantenimiento de las bases de datos de dispositivos y de lecturas, descritas en el “Apartado A-I.5.1.7.1. Bases de datos del *middleware* de operación y gestión de las comunicaciones NB-IoT” de este pliego.

Por tanto, será responsabilidad del adjudicatario el desarrollo de un *middleware* de operación y gestión de las comunicaciones NB-IoT o el uso de una plataforma existente que realice estas funciones. En ningún caso, se podrá exigir a la operadora del servicio de aguas realizar ningún tipo de reconocimiento o pagar algún derecho para el uso de los mismos.

Por tanto, no se contempla dentro del alcance del contrato el suministro del *middleware* de operación y gestión de las comunicaciones NB-IoT usada por el adjudicatario.

Sin ánimo de ser exhaustivo, este *middleware* deberá permitir, al menos:

- El acceso a los contenidos de los registros capturados por el equipo, incluyendo el marcado de fecha de captura de los registros y el motivo del envío (ventana de transmisión temporal programada u ordenada por interacción presencial) almacenados en la base temporal de lecturas, así como ordenar su borrado parcial o total.
- El acceso al contenido de los parámetros técnicos de operación enunciados en el “Apartado A-I.5.2.2. Parámetros técnicos de operación del equipo” de este pliego, almacenados en la base de datos de dispositivos, así como su reseteo.
- La gestión de la parametrización de los intervalos de captura de información (programación del perfil de lectura descrito en el “Apartado A-I.5.2.1 Modos de operación” de este pliego) y de las ventanas de transmisión del equipo al *middleware* de acuerdo con lo que permita el equipo.

- La gestión del cambio de parámetros de red (dirección IP del *middleware* de operación, código de red y APN del operador comercial NB-IoT, entre otros).
- La gestión de los parámetros de autenticación del equipo en su conexión al *middleware* de operación.

En general, el *middleware* debe posibilitar la gestión de las operaciones y usos descritos en el “Apartado 5.2 Requisitos mínimos funcionales para los contadores con comunicación integrada NB-IoT” de este pliego.

Será igualmente responsabilidad del adjudicatario el desarrollo de un protocolo para la interfaz entre el *middleware* de operación y gestión de las comunicaciones NB-IoT y la plataforma de tele-lectura de la operadora de aguas, que deberá estar suficientemente documentado para posibilitar que la operadora o un tercero en quien ésta delegue pueda usar esta interfaz para integrar los procesos de monitorización, operación y gestión de la tele-lectura. En particular, esta interfaz permitirá a la operadora del servicio de aguas:

- El acceso a los contenidos de los registros capturados por el equipo, incluyendo el marcado de fecha de captura de los registros y el motivo del envío (ventana de transmisión temporal programada u ordenada por interacción presencial), almacenados en la base temporal de lecturas, así como ordenar su borrado parcial o total, tanto de la base de datos de lecturas como del propio equipo.
- El acceso al contenido de los parámetros técnicos de operación volcados por el equipo en el *middleware* de operación enunciados en el “Apartado A-I.5.2.2. Parámetros técnicos de operación del equipo” de este pliego, almacenados en la base de datos de dispositivos.
- La gestión de la parametrización de los intervalos de captura de información (programación del perfil de lectura descrito en el “Apartado A-I.5.2.1 Modos de operación” de este pliego) y de las ventanas de transmisión del equipo al *middleware* de acuerdo con lo que permita el dispositivo.

- Información detallada cambio de parámetros de red (dirección IP del *middleware* de operación, código de red y APN del operador comercial NB-IoT, entre otros), realizadas por el adjudicatario.
- Información detallada de la gestión de los parámetros de autenticación del equipo en su conexión al *middleware* de operación.
- Información detallada de las medidas adoptadas para garantizar la seguridad en la interfaz entre el *middleware* de operación y gestión usado por el adjudicatario y la plataforma de tele-lectura de la operadora de aguas. Entre otras, deberán incluirse medidas para eliminar vulnerabilidades y defenderse de ataques hostiles, mecanismos de cifrado y encriptamiento en las transmisiones cliente servidor, capacidades que permitan auditar de manera sencilla las transacciones de usuario y el acceso de estos a los registros y capacidades que permitan detectar y bloquear acceso indebido a los registros. Es responsabilidad del adjudicatario garantizar la seguridad de la información almacenada en el *middleware* de operación y gestión y del acceso a la misma.

El documento con la descripción detallada y suficiente del protocolo de la interfaz entre el *middleware* de operación y gestión usado por el adjudicatario y la plataforma de tele-lectura de la operadora de aguas deberá ser documentado y entregado en el momento de la firma del contrato, de manera que la operadora o un tercero en quien ésta delegue, pueda implementar la parte de dicho protocolo. El adjudicatario incluirá una descripción suficiente de los algoritmos, técnicas y estándares de seguridad empleados.

A-I.5.2. Requisitos mínimos funcionales para los contadores con comunicación integrada NB-IoT.

A-I.5.2.1. Modos de operación.

El contador podrá iniciar una lectura bien por una programación calendarizada o bien por una orden de un operario presencialmente.

A continuación, se detallan estos modos de operación.

A-I.5.2.1.1. Lectura programada temporalmente.

El equipo permitirá la definición de hasta 8 tramos de lecturas dentro de un día de operación. Para cada tramo de lectura se deberá poder especificar el perfil de lectura, es decir: la hora de inicio y fin del tramo y el periodo de lectura cíclica, con un periodo mínimo, al menos, de 5 minutos y máximo de 24 horas. El primero de los tramos de lectura estará programado, por defecto, para una lectura horaria las 24 horas del día.

El equipo también permitirá la definición de hasta 8 ventanas de transmisión diarias, debiéndose poder especificar la hora de inicio de la conexión del equipo al *middleware* de operación para el volcado de la información de los registros (de los contadores) pendientes de envío. La primera de las ventanas de transmisión estará programada, por defecto, a una ventana de transmisión cada 24 horas.

En cada ventana de transmisión, además del volcado de la información de los registros de los contadores pendientes de envío, el *middleware* de operación deberá poder ordenar al equipo:

- Realizar un cambio de parametrización del perfil de lectura.

- Gestionar el volcado de los parámetros técnicos de funcionamiento del equipo definidos en el “Apartado A-I.5.2.2. Parámetros técnicos de operación del equipo” de este pliego” y ordenar el reseteo de contadores estadísticos, si es de interés.
- Gestionar la sincronización del reloj RTC del contador.
- Gestionar las credenciales de autenticación del equipo.
- Ordenar el borrado de la memoria interna de lecturas del equipo.
- Inhabilitar o habilitar el caso de lectura por interacción presencial.
- Gestionar las conexiones de servicio periódicas a la plataforma de actualización de firmware u ordenar la conexión a dicha plataforma según la opción técnica escogida por el proveedor.

El protocolo telemático que regule el diálogo entre el *middleware* de operación y el equipo será confirmado. En particular, ningún registro de información de un contador deberá ser descartado por el equipo sin la correspondiente confirmación (ACK) del *middleware* de operación que verifique su correcta recepción y persistencia. El adjudicatario podrá diseñar e implementar los mecanismos de ventana de ACK en el protocolo que considere necesario con el objetivo de optimizar su consumo energético.

En el caso de que el volcado de la información no pueda completarse (cobertura NB-IoT degradada, fallo técnico del servicio NB-IoT, indisponibilidad del *middleware* o cualquier otra causa) los registros se mantendrán en la memoria interna del equipo adoptando una estrategia de *buffer* circular con el tamaño mínimo equivalente indicado en el “Apartado A-I.5.1.6.4. Memoria Interna” de este pliego. Para posteriores ventanas de transmisión se empleará una estrategia LIFO.

Como medida de protección de la autonomía de la batería, la duración de una ventana de transmisión se limitará a 10 minutos en cualquier escenario y un máximo de 3 reintentos de conexión al servicio NB-IoT y autenticación en el *middleware* de operación en cada ventana de transmisión.

A-I.5.2.1.2. Lectura ordenada presencialmente por un operador.

En el caso de que el parámetro que permita este modo de operación esté habilitado, al ordenarse activamente por un operario presente en la instalación: El contador realizará una lectura y de manera inmediata ejecutará un proceso de ventana de transmisión con idénticas consideraciones a lo indicado en el “Apartado A-I.5.2.1.1. Lectura programada temporalmente”.

A-I.5.2.2. Parámetros técnicos de operación del equipo.

Con el objetivo de facilitar la gestión y monitorización del parque de equipos desplegado en campo, así como la detección y diagnóstico de incidencias, el equipo deberá calcular y poner a disposición del *middleware* de operación, los siguientes parámetros técnicos de operación, como mínimo, serán:

- Versión del programa de control en ejecución del sistema de comunicaciones del equipo
- Versión del firmware en ejecución del módem instalado.
- Valor del número de lecturas acumuladas en memoria.
- Último valor de RSRP conocido.
- Último valor de RSRQ conocido.
- Último valor de SNR o valor equivalente conocido.

- Último valor del CellID conocido.
- Último valor del CEL conocido.
- Valor acumulado de registros en la red NB-IoT del operador.
- Valor acumulado de registros no completados en la red NB-IoT del operador.
- Valor acumulado de conexiones con el *middleware* (incluidas las reconexiones).
- Valor acumulado de paquetes de datos enviados.
- Valor acumulado de paquetes de datos reenviados por falta de ACK remoto.
- Valor acumulado de ventanas de transmisión ejecutadas.
- Valor acumulado de la duración de las ventanas de transmisión.
- Último valor conocido de la entrada digital que gobierne el mecanismo de activación presencial del equipo.
- Parámetros de gestión de la eSIM, entre ellos, de forma obligatoria el ICC.

A-I.5.3. Servicio de conectividad de datos NB-IoT.

A-I.5.3.1. Alcance.

El alcance del servicio de conectividad de este contrato contempla la transmisión de los datos del equipo durante la vigencia del mismo a través de la tecnología NB-IoT.

En el servicio de conectividad se consideran incluidos los siguientes elementos que deberán ser valorados e incluidos económicamente como componentes del servicio final:

- El servicio de datos asociado M2M.
- Plataforma M2M de gestión de suscripciones a la red que permita el alta, baja, suspensión, monitorización del consumo de datos, definición de alertas, subsistemas SM-SR y SM-DP que den soporte a la eSIM, etc. Deberá proporcionarse una interfaz de la misma con la plataforma de tele-lectura de la operadora de aguas y las APIs correspondientes debidamente documentadas. Dicha plataforma deberá proporcionar el detalle del consumo de datos de cada equipo, así como de las conexiones realizadas por éstos.
- El servicio de atención de incidencias 24x7.
- Jefe de proyecto con perfil técnico y con conocimiento del comportamiento y explotación de la red NB-IoT del operador, así como de la interacción del equipo con dicha red.
- Documentación asociada al plan de implantación del servicio de conectividad demandado.
- La solución ofertada deberá incluir todos los servicios profesionales necesarios para el desarrollo, implantación, personalización, configuración, parametrización y puesta en explotación de todos los elementos y componentes del sistema.
- Suministro de aquellos elementos accesorios no citados en el presente pliego para proporcionar los servicios descritos. Se entiende que se trata de equipos electrónicos, mecánicos, cables, medios informáticos, etc. que fuesen necesarios para la prestación de la necesidad descrita.

- Portabilidad del servicio de conectividad, de acuerdo a lo descrito en el “Apartado. A-I.5.3.4. Portabilidad entre distintos operadores del servicio de conectividad” de este pliego.

A-I.5.3.2. Implantación del servicio.

La implantación del servicio de comunicaciones NB-IoT se realizará conforme al despliegue de los equipos en campo, que se realizará de manera total, previsiblemente, durante los dos primeros años del contrato. Esta planificación prevista no supone compromiso alguno por parte de la operadora, pudiendo realizar el despliegue de los equipos en campo con cualquier periodicidad dentro de la duración total del contrato.

El servicio deberá estar disponible desde el momento que la operadora de aguas instale la primera unidad del equipo en finca.

A-I.5.3.3. Actuaciones previas al comienzo de la prestación del servicio de conectividad.

El adjudicatario deberá llevar a cabo todas aquellas actuaciones necesarias a la prestación del servicio de conectividad entre las que se encuentran las siguientes:

- Puesta a disposición de la operadora de aguas de los protocolos de interfaz con el *middleware* de operación por el adjudicatario, debidamente documentados. El adjudicatario deberá proporcionar el soporte técnico necesario para que la entidad, o un tercero en quien ésta delegue, pueda implementar dicho protocolo en su plataforma de tele-lectura.
- Aprovisionamiento de los circuitos de interconexión y del APN privado.
- Puesta en marcha del plan de direccionamiento IP.

- Pruebas de funcionamiento de la interconexión de la red móvil del operador y la red corporativa de la operadora de aguas.
- Creación y puesta a disposición de la operadora de los protocolos de la interfaz con la plataforma de actualización de *firmware* ofertada por el adjudicatario. Ésta deberá proporcionar el soporte técnico necesario para que la operadora, o un tercero en quien ésta delegue, pueda implementar dicho protocolo en su plataforma de tele-lectura.
- Creación y puesta a disposición de la operadora de aguas de los protocolos de la interfaz con la plataforma de suscripción M2M ofertada por el adjudicatario. Ésta deberá proporcionar el soporte técnico necesario para que la operadora, o un tercero en quien ésta delegue, pueda implementar dicho protocolo en su plataforma de tele-lectura.
- Formación a usuarios de la operadora de aguas sobre el uso de las interfaces con las aplicaciones del adjudicatario.
- Pruebas extremo a extremo que evidencien que los equipos se conectan a través de la red NB-IoT al *middleware* de operación y que los datos correspondientes se almacenan en las bases de datos de dispositivos y de lecturas, completándose de forma correcta la transferencia de datos.

A-I.5.3.4. Portabilidad entre distintos operadores del servicio de conectividad.

El servicio demandado incluye en su alcance la portabilidad del servicio de datos que emplea el equipo en caso de que, en el tiempo de duración del presente contrato o a la finalización del mismo, el servicio NB-IoT pudiera ser realizado por un operador distinto.

Por migración del servicio de conectividad se entiende la descarga del perfil del nuevo operador de telecomunicaciones que sustituya al inicialmente seleccio-

nado por el adjudicatario de este contrato y el borrado de su perfil propio, así como el resto de los cambios necesarios en la configuración del servicio y/o internos del equipo para que éste emplee el nuevo servicio de conectividad NB-IoT, desvinculándose de manera efectiva del operador de comunicaciones donante.

La migración incluirá la ejecución de los procesos, así como las integraciones necesarias entre el operador de comunicaciones donante y receptor que permitan el provisionado remoto de perfiles de acuerdo con la especificación RSP M2M definida por el GSMA en el estándar SGP.02 v3.2 o superior.

Esta migración se realizará:

- A iniciativa del adjudicatario. En este caso la migración deberá ser autorizada por la operadora de aguas a la vista de un informe realizado por el adjudicatario, en el cual se justifique la necesidad y/o conveniencia de realizar la misma, y el impacto que la misma tiene sobre los compromisos de lecturas y autonomía.
- A iniciativa de la operadora de aguas, la entidad podrá exigir la migración del servicio de conectividad al operador de telecomunicaciones que la operadora designe.

El plazo máximo para llevar a cabo la migración será de un mes desde la autorización del mismo por parte de la operadora de aguas.

Cualquier cambio que afecte a la interfaz entre la plataforma de tele-lectura de la entidad y la plataforma de gestión de suscripciones del adjudicatario, como consecuencia de la migración deberá ser debidamente documentada. Asimismo, el adjudicatario detallará el nuevo protocolo de interfaz entre ambas plataformas, de manera que la operadora de aguas, o un tercero en quien ésta delegue, pueda llevar a cabo los cambios necesarios en la parte de la interfaz correspondiente a la plataforma de tele-lectura de la entidad.

A-I.5.4. Requisitos técnicos.

A-I.5.4.1. Curvas de consumos clasificados.

Q3 2,5		Q3 4		Q3 10		Q3 16	
Q	%	Q	%	Q	%	Q	%
Q<10 L/H	1,3945%	0-25 l/h	3,4703%	0-150 l/h	6,2986%	0-300 l/h	12,3753%
10<=Q<15 L/H	1,4311%	25-37,5 l/h	1,8545%	150-1000 l/h	72,0315%	300-2000 l/h	59,5908%
15<=Q<22,5 L/H	1,6728%	37,5-65 l/h	3,2750%	1000-1750 l/h	11,9895%	2000-3500 l/h	17,1191%
22,5<=Q<50 L/H	3,4620%	65-1000 l/h	81,8847%	1750-2500 l/h	4,4485%	3500-5000 l/h	6,4589%
50<=Q<100 L/H	2,3255%	1000-2500 l/h	8,6053%	2500-5000 l/h	3,7841%	5000-10000 l/h	4,2399%
100<=Q<200 L/H	5,0642%	2500-3500 l/h	0,6704%	5000-7500 l/h	1,4316%	10000-15000 l/h	0,2068%
200<=Q<350 L/H	12,8478%	3500-5000 l/h	0,1800%	7500-10000 l/h	0,0156%	15000-20000 l/h	0,0073%
350<=Q<500 L/H	27,3288%	>5000 l/h	0,0598%	> 10000 l/h	0,0008%	>20000 l/h	0,0018%
500<=Q<750 L/H	29,6475%						
750<=Q<1000 L/H	9,7928%						
1000<=Q<1250 L/H	3,4872%						
1250<=Q<1500 L/H	1,1269%						
1500<=Q<3000 L/H	0,4184%						
Q>=3000 L/H	0,0006%						

A-I.5.4.2. Materiales en contacto con agua potable.

Todo material que se utilice en cualquier actuación y que pueda estar en contacto, de forma temporal o permanente con el agua potable de la red de abastecimiento, deberá cumplir con las especificaciones del procedimiento para la aceptación de materiales y productos en contacto con el agua de consumo.

Conforme a lo anterior, solo podrán ser utilizados materiales incluidos en el listado interno de la operadora de los servicios de agua de productos aptos para su contacto con el agua potable, debiendo en caso contrario el contratista acreditar que de los materiales en con-

tacto con agua potable conforme a dicho procedimiento, acreditación que debe remitir al supervisor de la operadora con un plazo mínimo de 15 días naturales a la fecha de puesta en obra del citado material, debiendo dicha propuesta resultar aceptada por el departamento de la operadora competente en materia de calidad.

Para la acreditación de un material, no incluido en listado interno como apto para ser puesto en contacto con agua potable, se podrán presentar dos circunstancias básicas:

1. Que los materiales/productos posean certificados que han sido expedidos por países que disponen de NAS (Esquema de Aceptación Nacional) de la UE. En este caso se admiten las siguientes entidades certificadoras y direcciones de comprobación para verificar los certificados que se indican:

- Francia: ACS; <http://social-sante.gouv.fr/sante-et-environnement/eaux/article/attestation-de-conformite-sanitaire-acs>.
- Holanda: KIWA; <https://www.kiwa.nl/gecertificeerde-bedrijven.aspx>.
- Gran Bretaña: WRAS; <https://www.wras.co.uk/search/products/>.
- Alemania: DVGW ALEMAN: <http://www.dvgw-cert.com/index.php?id=34>.

Las condiciones de admisión son:

- Que todos los certificados estén actualizados de acuerdo con la normativa vigente en cada país emisor. En todo caso, nunca será superior a cinco años.
- El fabricante aportará un certificado en castellano, firmado por un apoderado y con el sello de la empresa, dónde se indicarán los siguientes campos obligados:
 - a) Expediente de obra/ suministro / servicio de la operadora donde se colocará el material.
 - b) Fabricante.
 - c) Producto / elemento: marca y modelo.
 - d) Certifica de manera general, explícita y literal “que todos los materiales de los componentes de dicho producto/elemento son aptos para estar en contacto con el agua de consumo humano”.
 - e) Los materiales del producto / elemento en contacto con agua de consumo humano que se certifican son: todos los del producto/elemento con contacto, añadiendo a continuación la referencia del certificado que se aporta, de forma que sea unívoca y fácil su identificación y comprobación.
 - f) Firma, nombre y cargo de la empresa fabricante y sello.
 - g) A continuación, se adjuntarán los correspondientes certificados, que deberán estar traducidos al castellano.

2. Que los materiales/productos no posean dichos certificados:

2.1. Materiales plásticos. Se admitirán las acreditaciones en los siguientes casos:

- a) Se admite la certificación de aptitud alimentaria de todos los componentes del material que vayan a estar en contacto con agua potable y que estén incluidos en las listas positivas del Reglamento de la Comisión Europea Nº 10/2011 (Reglamento (UE) Nº 10/2011 de la Comisión de 14 de enero sobre materiales y objetos plásticos destinados a entrar en contacto con los alimentos). Las condiciones de admisión, en este caso, serán las mismas que en el caso 1.
- b) Se admite la certificación de aptitud alimentaria de todos los componentes que vayan a estar en contacto con agua potable de acuerdo con el RD 866/2008 (RD866/2008 de 23 de mayo, por el que se aprueba la lista de sustancias permitidas para la fabricación de materiales y objetos plásticos destinados a entrar en contacto con los alimentos. BOE nº 131 del 30 de mayo 2008) (Derogado parcialmente). Las condiciones de admisión, en este caso, son las mismas que en el caso 1.
- c) En caso de que los componentes, o alguno de ellos, no figuren en estas listas positivas, ni dispongan de la acreditación conforme al punto anterior, el fabricante realizará un estudio de migración por laboratorio acreditado por la ENAC, de los parámetros establecidos en el RD140/2003 de acuerdo con la norma UNE correspondiente (UNE-EN 12873-1, UNE-EN 12873-2 etc.). Como condiciones de admisión por la operadora de aguas se exigirá que el certificado / informe de ensayo, deberá estar emitido por un laboratorio acreditado por la norma UNE EN ISO 17025, conforme a todos los parámetros establecidos en el RD140/2003 según la norma UNE correspondiente. Su fecha de realización no será superior a cinco años desde su presentación a la operadora de

aguas. Los ensayos de migración deberán realizarse en condiciones representativas de la utilización real del material. En caso de productos multicapa, si existen barreras que impiden el contacto del agua con capas internas, bastará con ensayar en contacto con agua. Las condiciones del certificado serán las mismas que en el caso 1.

2.2. Materiales no plásticos. Se admite la acreditación del material en contacto con el agua potable mediante la presentación del estudio de migración realizado por laboratorio acreditado por la ENAC de los parámetros establecidos en el RD140/2003 de acuerdo con la norma UNE correspondiente (UNE-EN 12873-3 ensayos para resinas de intercambio iónico y absorbentes; UNE-EN 12873-4 ensayos para membranas; UNE-EN 14944-3 ensayos para materiales con base cemento; UNE-EN 15664-1 ensayos de migración de metales). Como condiciones de admisión por la operadora de aguas se exigirá que el certificado / informe de ensayo, deberá estar emitido por un laboratorio acreditado por la norma UNE EN ISO 17025, conforme a todos los parámetros establecidos en el RD140/2003 según la norma UNE correspondiente. Su fecha de realización no será superior a cinco años desde su presentación a la operadora. Los ensayos de migración deberán realizarse en condiciones representativas de la utilización real del material. En caso de productos multicapa, si existen barreras que impiden el contacto del agua con capas internas, bastará con ensayar la final en contacto con agua. Las condiciones del certificado serán las mismas que en el caso 1.

2.3. Pinturas y recubrimientos. Se admiten las siguientes entidades certificadoras y direcciones de comprobación para verificar los certificados que se indican, de países de la UE, conforme al caso 1.

Se admite la certificación de aptitud alimentaria de todos los componentes del material que vayan a estar en contacto con agua

potable y que estén incluidos en las listas positivas del Reglamento de la Comisión Europea N° 10/2011 (Reglamento (UE) N° 10/2011 de la Comisión de 14 de enero sobre materiales y objetos plásticos destinados a entrar en contacto con los alimentos), conforme al caso 2.1.a.

Se admite la certificación de aptitud alimentaria de todos los componentes que vayan a estar en contacto con agua potable de acuerdo con el RD 866/2008 (RD866/2008 de 23 de mayo, por el que se aprueba la lista de sustancias permitidas para la fabricación de materiales y objetos plásticos destinados a entrar en contacto con los alimentos. BOE n° 131 del 30 de mayo 2008) (Derogado parcialmente), conforme al caso 2.1.b.

En caso que los componentes, o alguno de ellos, no figuren en estas listas positivas, ni dispongan de la acreditación conforme al punto anterior, el fabricante realizará un estudio de migración por laboratorio acreditado por la ENAC de los parámetros establecidos en el RD140/2003 de acuerdo con la norma UNE correspondiente, conforme al caso 2.1.c.

Las condiciones de admisión son las descritas para cada uno de los puntos indicados según cada caso y con la misma documentación ya reseñada

2.4. Materiales que incluyen en su composición alguno de los siguientes elementos: acrilamida, epiclorhidrina, cloruro de vinilo, bisfenol o nonil-fenol.

El certificado / informe de ensayo deberá estar emitido por un laboratorio acreditado por la norma UNE EN ISO 17025, que especifique que los valores máximos de migración de estos monómeros en el agua están dentro de los de los establecidos en el RD 140/2003.

El fabricante aportará un certificado en castellano, firmado por un apoderado y con el sello de la empresa, dónde se indicarán los campos obligatorios reseñados en el caso 1.

2.5. Aceros inoxidables. Se admitirá lo indicado por la Guía WRAS en su apartado “1. Introducción”: “Por lo general, sólo serán considerados para su aprobación los materiales no metálicos que estarán en contacto directo con agua suministrada por el proveedor de agua para uso doméstico (beber, bañarse, lavarse o cocinar)”, por lo que la operadora de aguas, a priori, considera necesaria la acreditación de aceros inoxidables, salvo que incorporen materiales no metálicos.

No obstante, el acero inoxidable se debe tratar como cualquier producto de construcción y, por ello, se promoverá la realización de ensayos de migración conforme al RD 140/2003 cuando el técnico responsable lo considere necesario.

El fabricante aportará un certificado en castellano, firmado por un apoderado y con el sello de la empresa, dónde se indicarán los campos obligatorios reseñados en el caso 1.

A-I.6. Supervisión y control. medios técnicos y humanos.

A-I.6.1. Localizaciones y tasas de rechazo.

En este apartado deberá mostrarse el área geográfica correspondientes a los suministros que gestiona la operadora de los servicios de aguas y que están incluidos en esta licitación. Se mostrarán en una figura..

El adjudicatario se compromete a informar a la operadora de aguas con periodicidad trimestral de la tasa de rechazo a la ejecución de sesiones de transferencia de datos para cada equipo.

A-I.6.2. Niveles de servicio exigidos.

La disponibilidad de lecturas diarias proporcionadas por el equipo y puestas a disposición del *middleware* de operación para modo de trabajo CE0 y CE1 será siempre superior al 90% de las lecturas posibles, entendiendo estas lecturas posibles como una lectura por hora y contador presente en bus asociado al equipo. En cómputo semanal, este porcentaje deberá superar el 94%.

A-I.6.3. Gestión y monitorización de incidencias y calidad de las comunicaciones durante la prestación del servicio de conectividad NB-IoT.

El adjudicatario deberá disponer, a su cargo, de las siguientes figuras para la gestión de todas aquellas incidencias que puedan surgir durante la prestación del servicio de conectividad NB-IoT:

- Servicio de atención de incidencias 24x7. Las incidencias se reportarán telefónicamente o a través de una plataforma de gestión de *ticketing*, de tal forma que se permita seguir la apertura, seguimiento, cierre y análisis de las mismas, generando los informes de resolución de incidencias correspondientes.
- Plataforma M2M de gestión de suscripciones.
- Jefe de proyecto con perfil técnico y con conocimiento del comportamiento y explotación de la red NB-IoT del operador, así como de la interacción del equipo con dicha red.

A-I.6.4. Responsabilidad del jefe de proyecto.

Será el responsable por parte del adjudicatario de:

- El seguimiento, la gestión y resolución de incidencias en la comunicación, tanto derivadas del comportamiento del equipo como de la propia red NB-IoT, así como de la calidad de dichas comunicaciones.

- El seguimiento y la gestión del suministro del contador.
- El seguimiento y la gestión del plan de implantación del servicio de conectividad.
- La gestión de las integraciones entre los distintos sistemas de información involucrados en el sistema: protocolo telemático entre equipo y *middleware* de operación, APIs de consulta de la plataforma M2M, bases de datos de lecturas y dispositivos, interfaces con la plataforma de tele-lectura de la operadora de aguas, etc.
- Generación y entrega de los informes de disponibilidad, incidencias, calidad del servicio, etc.

A-I.6.5. Tiempos de respuesta y gestión de las incidencias.

El adjudicatario dispondrá de un servicio de atención de incidencias 24x7. Las incidencias se reportarán telefónicamente o a través de una plataforma de gestión de *ticketing*, de tal forma que se permita seguir la apertura, seguimiento, cierre y análisis de las mismas, generando los informes de resolución de incidencias correspondientes.

Cuando la incidencia se produzca en los elementos de interconexión de redes y/o específicas del APN privado, la incidencia deberá resolverse en un plazo inferior a 8 horas naturales. De igual forma, la indisponibilidad total del servicio NB-IoT también deberá ser subsanada antes de 8 horas naturales. En ambos casos, los plazos mencionados anteriormente comienzan desde que se produce la incidencia. A tal efecto, el adjudicatario dispondrá de los sistemas de monitorización y supervisión necesarios que le permitan detectar este tipo de incidencias de forma proactiva.

El adjudicatario deberá informar al interlocutor de la opredora de los servicios de agua de la evolución de la avería y la estimación del tiempo de resolución. Es condición necesaria la notificación de resolución de avería por parte del adjudicatario para que se deje de computar tiempo.

En el caso de que se notifique y se compruebe que la avería persiste, no se dejará de contabilizar el tiempo de avería. Una vez finalizada la incidencia, el adjudicatario tendrá que reportar, obligatoriamente al responsable del proyecto de la operadora de aguas, el informe correspondiente.

El incumplimiento de los plazos mencionados anteriormente comportará las penalizaciones recogidas en el “Apartado A-I.8. Penalizaciones y causas de resolución del contrato” de este pliego.

A-I.7. Suministro de equipos.

A-I.7.1. Condiciones de la entrega.

1. **EMBALAJE:** Los equipos suministrados se presentarán en embalajes unitarios o agrupados en un embalaje común de un máximo de 10 unidades, teniendo en cuenta su peso y dimensiones para que pueda ser manipulado por una sola persona de acuerdo a la normativa vigente en la materia.

Los embalajes serán de resistencia suficiente para proteger el equipo durante su manipulación y transporte permitiendo, sin deteriorarse, apilamiento de los mismos en el almacén. El embalaje ha de llevar reseñado en una de sus caras verticales los números de todos los equipos que contiene en su interior, estando las cajas numeradas correlativamente.

Salvo indicación expresa del fabricante de que los impactos y golpes en el transporte no afectan al aparato, cada entrega deberá llevar una etiqueta dispositivo detector de impactos. Si se detecta que la entrega viene con impactos apreciables visualmente o porque así lo refleje el detector, se rechazará y devolverá el envío corriendo por cuenta del adjudicatario los gastos que se generen.

2. **ENTREGA DE EQUIPOS:** Todos los equipos a suministrar serán entregados en depósito, pendientes de instalación, en las dependencias indicadas en cada pedido por la operadora de aguas. La entrega incluirá la descarga y colocación de los mismos en dichas dependencias, en la forma y lugar concreto indicado por la operadora.

3. **RITMO DE ENTREGAS:** Las entregas se realizarán conforme a las indicaciones de la división de compras de la operadora, debiendo indicar para cada solicitud de pedido la fecha prevista de entrega.

Dichas entregas, incluyendo el primer pedido, se realizarán por los adjudicatarios en los 20 días hábiles siguientes a la fecha del pedido o bien a la fecha indicada expresamente en cada pedido, cuando ésta sea superior a 20 días hábiles. En el caso de que no se sirva el pedido en el plazo estipulado, la operadora podrá anular el mismo sin perjuicio de la penalización que proceda. El importe de estos pedidos anulados, durante el primer año de contrato, se descontará del importe de adjudicación garantizado por la operadora.

El adjudicatario se compromete a entregar a la operadora de aguas las unidades que pudiese precisar, según los acuerdos y el plan convenidos con el departamento de acometidas y contadores, estimando que el stock medio mensual no superará el 15% del total de las unidades previstas para cada año de contrato.

Cada pedido será entregado de una sola vez y la numeración de los equipos será correlativa para cada caudal permanente/modelo de contador.

En ningún caso deberá coincidir la numeración de los equipos de un mismo fabricante, aunque éstos sean de calibres o modelos diferentes.

4. **RECEPCIÓN:** A efectos de muestreo para la aceptación o rechazo de las partidas de equipos suministrados, serán de aplicación los criterios, conceptos y limitaciones establecidos en el laboratorio de contadores de agua fría de la operadora, realizándose un control de calidad de los equipos recibidos en cada una de las partidas, de acuerdo con el protocolo que la entidad tenga en vigor en cada momento. En caso de que no superen la prueba en el tanto por ciento que se determine, o bien no cumplan con las características técnicas exigidas para esta licitación, las partidas se devolverán íntegras, siendo cualquier gasto que se genere por este motivo por cuenta del adjudicatario. Los ensayos podrán incluir aquellos relacionados con las comunicaciones NB-IoT.

Con cada entrega de equipos se acompañará el resultado de las pruebas de verificación primitiva a las que hubieran sido sometidos. Estos datos serán entregados en archivo informático cuyo formato se definirá entre la operadora de aguas y el/los adjudicatarios del contrato.

5. **EQUIPOS DESMONTADOS.** En el caso que la instalación del equipo sea por sustitución de uno ya instalado, el desmontado será enviado al adjudicatario del equipo que se ha instalado, quien actuará como gestor de residuos según la norma ISO 14001:2004 Sistemas de gestión ambiental, asumiendo este los gastos de transporte y no pudiendo repercutir ningún coste por este servicio.

A-I.8. Penalizaciones y causas de resolución del contrato.

A-I.8.1. Otras penalizaciones y causas de resolución.

La operadora de aguas, salvo justificación aceptada por la propia empresa pública, podrá imponer al contratista las siguientes penalizaciones:

- 0,60 euros por cada 1.000 euros del precio del contrato por cada incumplimiento de cualquiera de las condiciones especiales de ejecución previstas en este pliego.
- En caso de que la operadora de los servicios de agua no pueda informar al adjudicatario de los pedidos realizados por cualquier medio fehaciente por causas imputable al adjudicatario, una penalización igual al 0,05% del importe total del pedido, IVA excluido, que no se haya podido recibir en la cuenta de correo electrónico. Adicionalmente, se considerará que el adjudicatario ha incurrido en demora en la entrega del citado pedido.
- En caso de producirse demora respecto al plazo indicado en el “Apartado A-I.7. Suministro de equipos” de este pliego en la entrega de los pedidos en alguno de los artículos objeto del contrato por causas imputables al adjudicatario, una penalización diaria en la proporción del 0,5% del importe total del pedido, IVA excluido, en el que se produzca el retraso, por día hábil de retraso, hasta un máximo del 25% del pedido.

- El material servido que no cumpla con las condiciones del presente pliego técnico, será puesto a disposición del adjudicatario, siendo por su cuenta los gastos de retirada y repercutiéndole los gastos siguientes:
 - Gastos de mano de obra en el caso de que los equipos ya estén instalados.
 - Coste del contador si éste ya ha sido abonado con anterioridad.
- Cuando se produzca una incidencia en los elementos de interconexión de redes y/o específicas del APN privado, la incidencia deberá resolverse en un plazo inferior a 8 horas naturales. De igual forma, la indisponibilidad total del servicio NB-IoT también deberá ser subsanada antes de 8 horas naturales. En ambos casos, los plazos mencionados anteriormente comienzan a computarse desde que se produce la incidencia. Si se superan dichos plazos, se penalizará con el 0,5% de la facturación anual por el servicio de conectividad, por cada día de demora en la resolución de la incidencia.
- 0,5% de la facturación anual por el servicio de conectividad, por cada punto porcentual por debajo de la disponibilidad de lecturas mínima diaria y otro 0,5% de la misma facturación anual por cada punto porcentual por debajo de la disponibilidad de lecturas mínima semanal definidas en el “Apartado A-I.6.2. Niveles de servicio exigidos” del pliego de prescripciones técnicas. Esta disponibilidad se medirá mediante promediado de la disponibilidad individual de cada equipo en ambos criterios en el mes.
- Cuando no se entregue el informe mensual sobre la tasa de rechazo a la ejecución de sesiones de transferencia de datos por parte del equipo, por concurrencia de terceros usuarios del servicio NB-IoT, tal como se indica en el “Apartado A-I.6.1. Localizaciones y tasas de rechazo” de este pliego, se aplicará una penalización mensual de 1.000 euros.

- En caso de que el adjudicatario no realice la migración del servicio de conectividad al operador de telecomunicaciones que la operadora de los servicios de agua designe, en los términos definidos en el “Apartado A-I.5.3.4. Portabilidad entre distintos operadores del servicio de conectividad” del pliego de especificaciones técnicas, se aplicará una penalización del 4% del importe de adjudicación del contrato.

A-I.8.1.1. Relación de obligaciones esenciales cuyo incumplimiento puede llevar aparejada la resolución del contrato.

Se consideran obligaciones esenciales del contrato cuyo incumplimiento puede llevar aparejada la resolución del mismo, las siguientes:

- La entrega en plazo de los contadores objeto del contrato. En este sentido, cuando se produzca un retraso superior en 15 días hábiles a la fecha de entrega y en caso de reiteradas demoras en la entrega, la operadora de aguas podrá, salvo justificación aceptada por la empresa pública, instar la resolución del Contrato imponiendo una penalización equivalente al 5% del importe del contrato IVA excluido, sin perjuicio de la reclamación de la indemnización por daños y perjuicios que corresponda, siendo por cuenta del adjudicatario retirar aquellos artículos que, a cuenta, ya hubiese entregado en los almacenes de la empresa pública, no pudiendo reclamar por el posible deterioro que se pudiera producir en los embalajes por tal motivo.

En el caso de no producirse la retirada por parte del adjudicatario de los artículos a que se refiere el apartado anterior, dentro de los 30 días siguientes a la fecha de la comunicación de la resolución del Contrato, los mismos serán considerados como abandonados por el adjudicatario, pudiéndoles dar la operadora de aguas el uso que estime más adecuado, sin que por ello tenga que abonar cantidad alguna al adjudicatario.

- La prestación en plazo de los servicios de tele-lectura objeto del contrato. En este sentido, cuando se produzca un retraso superior en 15 días hábiles a la fecha de entrega y en caso de reiteradas demoras en la prestación del servicio, la operadora podrá, salvo justificación aceptada por la empresa pública, instar la resolución del Contrato imponiendo una penalización equivalente al 5% del importe del contrato IVA excluido, sin perjuicio de la reclamación de la indemnización por daños y perjuicios que corresponda, siendo por cuenta del adjudicatario retirar aquellos artículos que ya hubiese instalado, no pudiendo reclamar por el posible deterioro que se hubiera podido producir durante el tiempo que han estado instalados.

En el caso de no producirse la retirada por parte del adjudicatario de los artículos a que se refiere el apartado anterior, dentro de los 30 días siguientes a la fecha de la comunicación de la resolución del contrato, los mismos serán considerados como abandonados por el adjudicatario, pudiéndoles dar la operadora el uso que estime más adecuado, sin que por ello tenga que abonar cantidad alguna al adjudicatario.

- Falta de prestación de servicio de conectividad, salvo causa de fuerza mayor, que afecte a más del 50% de los equipos durante 5 días consecutivos, o 10 días en el transcurso de un año.
- Falta de prestación de servicio de conectividad, salvo causa de fuerza mayor, que afecte a más de un 5% de los equipos cuyo servicio de conectividad se presta en el contrato durante 30 días consecutivos.
- No atender las sanciones y/o gastos indicados anteriormente.

Una posible modificación de la normativa legal en vigor en materia de metrología tanto a nivel europeo, como nacional o autonómico, podrá ser causa de resolución del contrato en tanto dicha modificación determine la no obligación para la operadora de los servicios de

agua de adquirir contadores de las características exigidas en este pliego. La resolución por este motivo no conllevará para el adjudicatario pérdida de la fianza ni derecho a indemnización alguna.

A-I.8.1.2. Condiciones especiales de ejecución.

Se establecen las siguientes condiciones especiales en relación con la ejecución del contrato:

- Garantizar la seguridad y la protección de la salud en el lugar de trabajo del personal que ejecute el contrato. En este sentido, el adjudicatario deberá presentar un plan de seguridad y la protección de la salud en el lugar de trabajo del personal que ejecute el contrato.
- La obligación del contratista de someterse a la normativa nacional y de la Unión Europea en materia de protección de datos.

El adjudicatario deberá acreditar el cumplimiento de cualquiera de las anteriores obligaciones ante la operadora de aguas, si es requerido para ello, en cualquier momento durante la vigencia del contrato.

A-I.9. Garantías de los equipos.

A-I.9.1. Condiciones.

La garantía cubrirá, para contadores electrónicos, con o sin comunicación integrada NB-IoT, cualquier mal funcionamiento, por defecto o vicio oculto, derivado del proceso de fabricación o utilización de materiales defectuosos o inapropiados para el correcto funcionamiento del equipo.

A-I.9.2. Duración.

La duración mínima de la garantía tanto para los componentes mecánicos como electrónicos de los contadores, con o sin comunicación integrada NB-IoT, así como la duración mínima de la batería que alimenta a los circuitos internos del contador en las condiciones de uso indicadas en el “Apartado A-I.5.1.4. Especificaciones de autonomía” de este pliego, coincidirá con la vida útil del contador que viene definida en la Orden ICT/155/2020, de 7 de febrero, por la que se regula el control metrológico del Estado de determinados instrumentos de medida, que para contadores de agua limpia es de 12 años.

A-I.9.3. Gastos incluidos en la garantía.

Reuniendo las condiciones de garantía y estando dentro de los plazos establecidos, los gastos incluidos en la garantía serán:

- Los de reposición del equipo.
- Los derivados de la sustitución del contador (mano de obra de sustitución).

Cuando el mal funcionamiento de los equipos haya producido facturaciones indebidas debido a fallos en el diseño y/o ensamblaje del producto tanto de la parte mecánica como electrónica, la operadora de aguas podrá repercutir los gastos derivados de la refacturación producida sobre el adjudicatario del contador defectuoso previa notificación y audiencia al mismo.

A-I.9.4. Aplicación de las garantías.

Mensualmente y junto a los datos para la facturación, se remitirá al adjudicatario listado de contadores averiados indicando aquellos que se incluyen como garantía de contador y de mano de obra, e informando de la disponibilidad de las citadas garantías para su retirada por parte de los adjudicatarios.

Una vez analizadas las garantías por parte del adjudicatario, emitirá informe indicando la no aceptación de aquellas unidades en las que no se cumplen las condiciones de garantía. Recibido este informe y conformado por parte de la operadora de los servicios de agua, se regularizará al mes siguiente de su recepción.

En el caso de no haber acuerdo, en los contadores que no se aceptan como garantías por parte del adjudicatario, se aplicará el criterio definido por la operadora, sin perjuicio de que el adjudicatario pueda reclamar como estime oportuno.

El plazo máximo que dispone el adjudicatario para emitir el informe de disconformidad, es de 90 días hábiles desde la notificación de disponibilidad de los equipos en garantía que emite la operadora de agua. Pasado dicho plazo, se darán por conformes las garantías aplicadas sin posibilidad de reclamación por parte del adjudicatario y quedando facultada la operadora para el envío a reciclaje de los contadores no retirados, objeto de las mencionadas garantías.

Anexo II.
Índice de figuras.

Figura 1. Motores del cambio para la transformación AMI de una operadora de agua (adaptada de [Boyl:2013]).	36
Figura 2. Nivel de madurez digital.	38
Figura 3. Plan de tele-lectura.	39
Figura 4. Representación gráfica de la posición de las tecnologías inalámbricas en el mapa cobertura-tasa de datos.	43
Figura 5. Clasificación de redes LPWAN de interés para <i>Smart Metering</i> , en cuanto al tipo de banda de frecuencia que emplean y a su modo de operación, y características asociadas.	44
Figura 6. Comparación simplificada de bandas ISM asignadas por la <i>International Telecommunication Union (ITU)</i> en Europa.	45
Figura 7. BW es el ancho de banda de modulación (Hz) y SF es el factor de difusión (Spreading Factor).	47
Figura 8. Especificación de modos de NB-IoT (extraídos del estándar).	51
Figura 9. Protocolos de NB-IoT (a partir del estándar. UE: User Equipment, eNB: eNodeB, MME: Mobility Management Entity).	52
Figura 10. Adecuación de las tecnologías inalámbricas consideradas a la IoT [Hern:2018] (nótese que la tabla original no incluye la tecnología Wize).	53
Figura 11. Principales especificaciones técnicas y características de las tecnologías LPWAN.	54
Figura 12. Comparativa de la adecuación de las tecnologías LPWAN a una operadora de agua: aspectos.	55
Figura 13. Comparativa de tecnologías por su adecuación a las necesidades de una operadora de aguas, escenario 1: AMR.	56
Figura 14. Comparativa de tecnologías por su adecuación a las necesidades de una operadora de aguas, escenario 2: AMI actual.	56
Figura 15. Comparativa de tecnologías por su adecuación a las necesidades de una operadora de aguas, escenario 3: AMI futuro.	57
Figura 16. Representación gráfica de una arquitectura 5G IoT.	58

Figura 17. Duración de la batería para un terminal eMTC y NB-IoT con distintas condiciones de tráfico, tomado de [Sous:2018]).	59
Figura 18. Degradación de la capacidad nominal en baterías LTC: a) dependencia con la corriente y la sobrecarga. b) dependencia de la capacidad disponible con la temperatura ¹⁰ .	60
Figura 19. Modelo 1 de tele-lectura. Totalmente propietario.	72
Figura 20. Modelo 2 de tele-lectura. Comunicaciones como servicio.	74
Figura 21. Modelo 3 de tele-lectura. <i>Metering</i> como servicio.	76
Figura 22. Parque de contadores del operador de aguas y puntos de lectura.	85
Figura 23. Sustitución de contadores previstas para los años 2024 a 2035, con distinción entre contadores individuales y contadores instalados en batería.	85
Figura 24. Costes unitarios asociados a los terminales de tele-lectura.	87
Figura 25. Costes unitarios asociados a los <i>gateways</i> .	87
Figura 26. Costes unitarios anuales asociados a las comunicaciones operadas (NB-IoT).	88
Figura 27. Sobrecostes unitarios asociados a los contadores con tele-lectura NB-IoT integrada (es decir, la diferencia de coste entre el contador con tele-lectura incluida y el mismo contador sin terminal de comunicaciones).	88
Figura 28. Estimación de la Inversión más gastos totales asociados a la tele-lectura por diferentes conceptos, en cinco casos considerados en el estudio. La implementación de la tele-lectura se realiza en 12 años.	90
Figura 29. Sobrecoste (inversión + gasto) por conceptos de los diferentes casos de implantación de tele-lectura en 12 años, considerados en este estudio.	90
Figura 30. Distribución anual de la inversión más gastos asociados a la tele-lectura en el periodo 2022-2033 según los diferentes casos previstos en el estudio.	91
Figura 31. Proporción de la inversión y gasto asociados a la tele-lectura en sus diferentes conceptos para los cinco casos considerados en el estudio.	91

Figura 32. Grado de penetración de la tele-lectura (en porcentaje de contadores tele-medidos), para el CASO 3-NB, con dos tipos de implantación: “Todos por edad” y “Acelerando las baterías a los primeros cuatro años”.	92
Figura 33. Costes totales por conceptos para el CASO 3-NB, con dos tipos de implantación: “Todos por edad” y “Acelerando las baterías a los primeros cuatro años”.	92
Figura 34. Distribución anual de la Inversión más gastos asociados a la tele-lectura en el periodo 2024-2035 para el CASO 3-NB, con dos tipos de implantación: “Todos por Edad” y “Acelerando las Baterías a los primeros cuatro años”.	93
Figura 35. Estimación de costes de Integración de datos.	93
Figura 36. Comparativa de modelos de tele-lectura desde el punto de vista de la operadora de aguas y del adjudicatario de la licitación del servicio correspondiente al modelo seleccionado.	96
Figura 37. Componentes principales de un sistema de análisis de red incluyendo modelos hidráulicos basados en datos.	100
Figura 38. Arquitectura <i>Big Data</i> para AMI de aguas.	103
Figura 39. Componentes de computación en la nube.	105
Figura 40. Arquitectura de referencia de <i>Big Data</i> del Instituto Nacional de Estándares y Tecnología (NIST) ³⁵ .	106
Figura 41. Capacidades de la analítica de datos (elaboración propia a partir de un original de Bain & Company).	108
Figura 42. Herramientas de interés para una operadora de aguas en tres escenarios: corto, medio y largo plazo.	115
Figura 43. Arquitectura propuesta.	126
Figura 44. Dependencias temporales y funcionales de transformación, incluyendo la secuencia recomendada.	127
Figura 45. Arquitectura del Sistema de Tele-lectura de contadores de la operadora.	140
Figura 46. Altura máxima de los contadores, excluida la tapadera superior si la tuviesen.	143



Asociación Española de Operadores
Públicos de Abastecimiento y Saneamiento