



Digitalización en empresas públicas de abastecimiento y saneamiento de agua en pequeños y medianos núcleos urbanos.

José María Marín Guillén

Grado de Ingeniería Informática
Sistemas de información integrados (ERP)

Juan Darocha Huerta

María Isabel Guitart Hormigo

Fecha Entrega

7 de enero de 2021



Esta obra está sujeta a una licencia de Reconocimiento-NoComercial-SinObraDerivada [3.0 España de Creative Commons](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/es/)

FICHA DEL TRABAJO FINAL

Título del trabajo:	<i>Digitalización en empresas públicas de abastecimiento y saneamiento de agua en pequeños y medianos núcleos urbanos.</i>
Nombre del autor:	<i>José María Marín Guillén</i>
Nombre del consultor/a:	<i>Juan Darocha Huerta</i>
Nombre del PRA:	<i>María Isabel Guitart Hormigo</i>
Fecha de entrega (mm/aaaa):	01/2021
Titulación:	<i>Grado de Ingeniería Informática</i>
Área del Trabajo Final:	<i>Sistemas de información integrados</i>
Idioma del trabajo:	<i>Castellano</i>
Palabras clave	<i>ERP, Implantación, Agua</i>
<p>Resumen del Trabajo (máximo 250 palabras): <i>Con la finalidad, contexto de aplicación, metodología, resultados i conclusiones del trabajo.</i></p>	
<p>Durante del desarrollo de este trabajo se estudiarán las necesidades de las empresas públicas de abastecimiento y saneamiento de agua en pequeños y medianos núcleos de población, de tamaño inferior a cien mil habitantes. Este tipo de gestión del agua se encuentra en un escaso nivel de digitalización, y es necesaria una transformación que convierta a estas empresas en organizaciones donde la tecnología tenga un papel innovador y ayude a aprovechar plenamente los recursos hídricos. Todo ello redundará en beneficio del cliente final, el cual obtendrá un producto de mayor calidad, así como un servicio más eficiente.</p> <p>A lo largo del trabajo, se expondrán las mejoras que se esperan conseguir con la implantación de un ERP y un Sistema de Información Geográfica integrado en este, así como con la implantación de un sistema SCADA que gestione y monitorice de forma remota toda la red de abastecimiento y saneamiento. De igual forma se presentarán los objetivos a medio y largo plazo que se pretenden alcanzar. Como resultado, se analizarán las diferentes alternativas existentes en el mercado y sus funcionalidades.</p> <p>A continuación, se escogerán previa valoración de cada herramienta, la óptima para este tipo de organizaciones, haciendo especial atención a las iniciativas <i>Open Source</i> disponibles, tanto a nivel <i>hardware</i> como <i>software</i>. se desarrollarán las diferentes fases de trabajo para la implantación de la solución, así como la evaluación de riesgos y gestión del cambio.</p> <p>Por último, se expondrán las conclusiones alcanzadas.</p>	

Abstract (in English, 250 words or less):

During the development of this work, the needs of public water supply and sanitation companies in small and medium sized towns with less than 100,000 inhabitants will be studied. This type of water management is at a low level of digitalization, and a transformation is needed to turn these companies into organizations where technology plays an innovative role and helps to make full use of water resources. All of this will benefit the end customer, who will obtain a higher quality product, as well as a more efficient service.

Throughout the document, the improvements expected to be achieved with the implementation of an ERP and a Geographical Information System integrated into it, as well as with the implementation of a SCADA system that remotely manages and monitors the entire supply and sanitation network, will be presented. Similarly, the medium- and long-term objectives to be achieved will be set out. As a result, the different alternatives on the market and their functionalities will be analyzed.

Next, the optimum tool for this type of organization will be chosen after evaluating each one, paying special attention to the available Open-Source initiatives, both at hardware and software level. The different work phases for the implementation of the solution will be developed, as well as risk assessment and change management.

Finally, the conclusions reached will be presented.

Índice

1. Introducción.....	8
1.1 Contexto y justificación del Trabajo.....	8
1.2 Objetivos del Trabajo.....	9
1.3 Enfoque y método seguido.....	10
1.4 Planificación del Trabajo.....	11
1.5 Breve resumen de productos obtenidos.....	14
1.6 Breve descripción de los otros capítulos de la memoria.....	14
2. Contexto actual de la gestión del agua.....	15
2.1 Abastecimiento y saneamiento de agua en países desarrollados.....	15
2.2 Modalidades de gestión en el abastecimiento y saneamiento de agua...	17
2.3 La gestión del agua en núcleos urbanos de menos de cien mil habitantes	18
2.4 La tecnología en la gestión del agua.....	18
3. Análisis de requisitos.....	20
3.1 Requisitos ERP.....	20
3.1.1 Requisitos generales ERP.....	20
3.1.2 Requisitos específicos por área.....	20
3.2 Requisitos GIS.....	21
3.3 Requisitos SCADA.....	22
3.4 Requisitos instrumentación de campo.....	23
4. Estudio de las soluciones existentes en el mercado.....	24
4.1 <i>Open Source</i> o software privativo en la administración pública.....	24
4.2 ERP.....	24
4.2.1 Odoos.....	26
4.2.2 Dolibarr.....	27
4.2.3 Compiere.....	28
4.2.4 Adempiere.....	29
4.3 GIS.....	31
4.3.1 OpenJump.....	32
4.3.2 QGIS.....	33
4.3.3 SAGA.....	34
4.3.4 gvSig.....	35
4.4 SCADA.....	37
4.4.1 OpenScada.....	38
4.4.2 Rapid Scada.....	39
4.4.3 SCADABR.....	41
4.4.4 SCADA-LTS.....	42
4.5 Instrumentación de campo.....	43
4.5.1 Sensores de presión.....	43
4.5.2 Sensores de flujo.....	44
4.5.3 Sensores de nivel.....	44
4.5.4 Sensores de calidad del agua.....	44
4.5.5 Actuadores y válvulas.....	45
5. Análisis de riesgos.....	46
6. Selección de ERP para la gestión del agua.....	48
6.1 Módulos necesarios para la gestión de agua.....	48
6.2 Costes de licencias.....	48
6.2.1 Costes de licencia de Odoos.....	48
6.2.2 Costes de licencia de Dolibarr.....	48

6.2.3 Costes de licencia de Adempiere y Compiere	49
6.3 Costes de implantación	49
6.4 Valoración de sistemas	49
7. Selección de GIS para la gestión del agua.....	52
7.1 Funcionalidad necesaria.....	52
7.2 Costes de licencias.....	52
7.3 Costes de implantación	52
7.4 Valoración de los sistemas.....	52
8. Selección de SCADA	55
8.1 Funcionalidad necesaria.....	55
8.2 Costes de licencias.....	55
8.3 Costes de implantación	55
8.4 Valoración de los sistemas.....	55
9. Implantación de los sistemas	58
9.1 Introducción.....	58
9.2 Metodología.....	58
9.3 Fases de implantación.....	58
9.3 Equipo	60
10. Soporte y mantenimiento.....	61
11. Gestión del cambio.....	62
11.1 Introducción.....	62
11.2 Comunicación.....	62
11.3 Formación	63
12. Conclusiones.....	64
13. Trabajo futuro	65
14. Glosario	66
15. Bibliografía	68

Lista de figuras

Ilustración 1: Planificación del trabajo	13
Ilustración 2: Ciclo integral del agua.....	15
Ilustración 3: Logo del ERP Odoo.	26
Ilustración 4: Logo del ERP Dolibarr.	27
Ilustración 5: Logo del ERP Adempiere.....	29
Ilustración 6: Logo del ERP Compiere.	28
Ilustración 7: Logo del GIS OpenJump.....	32
Ilustración 8: Logo del GIS QGIS.	33
Ilustración 9: Logo del GIS SAGA.	34
Ilustración 10: Logo del GIS gvSig.	35
Ilustración 11: Logo del SCADA openscada.....	38
Ilustración 12: Logo del SCADA Rapid Scada.....	39
Ilustración 13: Logo del SCADA SCADABR.....	41
Ilustración 14: Logo del SCADA SCADA-LTS.....	42
Ilustración 15: Transductor de presión.	43
Ilustración 16: Caudalímetro electromagnético.	44
Ilustración 17: Sensor de nivel ultrasónico.	44
Ilustración 18: Sensores de calidad del agua.	45
Ilustración 19: Válvula con actuador eléctrico.	45
Ilustración 20: Fases de implantación de un sistema de información.....	58

Lista de tablas

Tabla 1: Planificación del Trabajo.....	12
Tabla 2: Identificación de riesgos. Fuente: PMBOK.....	46
Tabla 3: Valoración ERP. Fuente: elaboración propia.....	51
Tabla 4: Valoración GIS. Fuente: elaboración propia.....	54
Tabla 5: Valoración SCADA. Fuente: elaboración propia.....	57

1. Introducción

1.1 Contexto y justificación del Trabajo

Durante la Cumbre de la Tierra en Río de Janeiro en 1992, se elaboró la siguiente declaración:

“[...] El agua se necesita en todos los aspectos de la vida. El objetivo general es velar por que se mantenga un suministro suficiente de agua de buena calidad para toda la población del planeta y preservar al mismo tiempo las funciones hidrológicas, biológicas y químicas de los ecosistemas, adaptando las actividades humanas a los límites de la capacidad de la naturaleza y combatiendo los vectores de las enfermedades relacionadas con el agua. Es preciso contar con tecnologías innovadoras, entre ellas las tecnologías locales mejoradas para aprovechar plenamente los recursos hídricos limitados y protegerlos contra la contaminación [...].”

La escasez generalizada de recursos de agua dulce, su destrucción gradual y su creciente contaminación, así como la implantación progresiva de actividades incompatibles en muchas regiones del mundo, exigen una planificación y una ordenación integradas de los recursos hídricos. Esa integración ha de abarcar todos los tipos de masas interrelacionadas de agua dulce, tanto las aguas superficiales como las subterráneas, y ha de tener debidamente en cuenta los aspectos de la cantidad y calidad del agua [...].” [1]

Este trabajo se basa en la necesidad de implementar tecnologías innovadoras a la gestión del agua, con el fin de aprovechar de forma más eficiente los recursos hídricos y evitar que estos se pierdan o queden contaminados por agentes externos.

En los núcleos pequeños y medianos, se detectan por regla general las siguientes deficiencias:

- Baja eficiencia de la red de abastecimiento. Es decir, existe una notable diferencia entre el volumen de agua suministrado y el registrado, el cual se pierde en algún punto de la red y es difícil de detectar en tiempo y forma adecuada.
- Ausencia de mantenimiento preventivo o mala planificación de este, lo cual redundaría en un mayor coste de explotación y por ende un servicio deficiente al ciudadano.
- Desconocimiento de la estructura de la red. Es prioritario conocer las características de la infraestructura de agua en las poblaciones y la localización de cada elemento con la mayor precisión posible.
- Ausencia de monitorización del sistema y por lo tanto lenta respuesta ante una incidencia en la red (hipercloración o hipocloración de la red, rotura en una conducción o avería en un elemento de esta).
- Alta contaminación de las aguas residuales y desconocimiento de los niveles de contaminación.

- Ausencia de sistemas de información para gestión de la organización. En muchos casos se trata de una gestión obsoleta y rudimentaria.
- Sistemas de control de acceso deficientes o inexistentes en las instalaciones de la red, aumentando el riesgo de bioterrorismo.

Por todo ello, se pretende conseguir una gestión más eficiente en este tipo de empresas, y un mejor aprovechamiento del recurso natural, así como un mejor servicio a los clientes y funcionamiento de la organización. En resumen, conseguir que estas empresas y poblaciones entren en la nueva era de la digitalización.

1.2 Objetivos del Trabajo

- Estudiar todo el proceso de análisis, selección e implantación de un sistema de información en el ámbito de la gestión pública del agua.
- Integración de un sistema GIS en el ERP. Este sistema actualiza la información de las infraestructuras hidráulicas y relaciona la ubicación geográfica de los elementos, su topología y sus características técnicas.
- Implantación de un sistema SCADA que recoja los datos en tiempo real de las explotaciones remotas y permita una monitorización de la red y recepción de alarmas, a través de la obtención de información adecuada mediante instrumentación en campo.
- Instalación de sistemas de automática y telecontrol en las estaciones remotas a lo largo de la red.
- Mejora de la eficiencia de la red de abastecimiento.
- Mejora de la seguridad en las instalaciones y disminución del riesgo de bioterrorismo.
- Reducción de los niveles de contaminación en aguas residuales.
- Detección en tiempo real de vertidos contaminantes en la red de saneamiento.
- Definir una planificación del proyecto, de forma adecuada y realista con el fin de obtener el menor impacto en la actividad diaria.
- Formación del personal en los nuevos sistemas de información.
- Mejora de la recepción de incidencias por parte de los usuarios.
- Mejora de la satisfacción, servicio prestado y atención al usuario.
- Envío de información a los usuarios a través de sistemas de telecomunicaciones, así como un mejor acceso de estos a la información de la organización.

1.3 Enfoque y método seguido

Una vez expuestas las necesidades y los objetivos, se definirá un plan de implantación.

La digitalización e implantación de sistemas de información requiere el compromiso de toda la organización, en especial de la dirección, ya que la empresa deberá ajustar su actividad al nuevo sistema para conseguir los resultados esperados. Se trata de un proceso que requerirá incluso el reciclaje de empleados a nuevas tareas. Por ejemplo, ya no será necesaria la lectura de los contadores de forma presencial y estos enviarán sus consumos de agua al sistema SCADA y ERP. De igual forma, la apertura y cierre de válvulas y compuertas se realizará de forma remota, consiguiendo una actuación más rápida, eficiente y una reducción de los riesgos laborales.

Las fases de implementación serán las siguientes:

- Análisis. En esta fase se analizarán las necesidades que motivan la implantación de los sistemas de información.
- Estudio de soluciones. Se evaluarán los distintos sistemas de información candidatos a cubrir las necesidades de la organización.
- Implantación y puesta en marcha. Se realizará mediante una metodología ágil, ya que en el supuesto de este tipo de organizaciones se obtienen mejores resultados que en la clásica metodología en cascada, principalmente debido al tamaño del sistema en su totalidad. Se podrá hacer entregas y puestas en marcha de las diferentes áreas funcionales.
- Soporte y mantenimiento. Especialmente durante las primeras etapas tras la puesta en marcha.

1.4 Planificación del Trabajo

La entrega de las PEC comprende desde el 17 de septiembre de 2020 hasta el 7 de enero de 2021. Por lo tanto, se propone la siguiente programación en un diagrama Gantt:

Tarea	Fecha de inicio	Fecha de fin
PEC 1	17/09/20	28/09/20
Introducción	17/09/20	28/09/20
Contexto y justificación del trabajo	17/09/20	19/09/20
Objetivos del Trabajo	20/09/20	23/09/20
Enfoque y método seguido	24/09/20	28/09/20
Planificación del trabajo	17/09/20	28/09/20
Breve resumen de productos obtenidos	25/09/20	28/09/20
Breve descripción de otros capítulos de la memoria	26/09/20	28/09/20
PEC 2	29/09/20	1/11/20
Revisión del plan de trabajo	29/09/20	29/09/20
Contexto actual en la gestión del agua	29/09/20	5/10/20
Abastecimiento y saneamiento en países desarrollados	29/09/20	1/10/20
Modalidades de gestión de agua	2/10/20	3/10/20
La gestión del agua en núcleos urbanos de menos de cien mil habitantes	4/10/20	5/10/20
La tecnología en la gestión del agua	4/10/20	5/10/20
Análisis de requisitos	6/10/20	19/10/20
Requisitos ERP	6/10/20	9/10/20
Requisitos GIS	9/10/20	11/10/20
Requisitos SCADA	12/10/20	15/10/20
Requisitos instrumentación de campo	16/10/20	19/10/20
Estudio de las soluciones existentes en el mercado	21/10/20	1/11/20
Open Source ó software privativo	21/10/20	21/10/20
ERP	21/10/20	24/10/20

GIS	25/10/20	27/10/20
SCADA	28/10/20	1/11/20
Instrumentación de campo	30/10/20	1/11/20
PEC 3	3/11/20	7/12/20
Revisión del plan de trabajo	3/11/20	3/11/20
Análisis de riesgos	3/11/20	3/12/20
Selección de ERP para gestión del agua	3/11/20	8/11/20
Módulos necesarios en la gestión del agua	3/11/20	4/11/20
Costes	5/11/20	6/11/20
Valoración de sistemas	5/11/20	8/11/20
Selección de GIS para gestión del agua	9/11/20	15/11/20
Funcionalidad necesaria	9/11/20	10/11/20
Costes	11/11/20	12/11/20
Valoración de los sistemas	13/11/20	15/11/20
Selección de SCADA e instrumentación	16/11/20	22/11/20
Funcionalidad necesaria SCADA	16/11/20	17/11/20
Costes y licencias	19/11/20	20/11/20
Valoración de los sistemas	21/11/20	22/11/20
Implantación de los sistemas de información	24/11/20	2/12/20
Introducción	24/11/20	24/11/20
Metodología	25/11/20	26/11/20
Fases de implantación	27/11/20	29/11/20
Equipo	30/11/20	2/12/20
Soporte y mantenimiento	3/12/20	5/12/20
Gestión del cambio	6/12/20	7/12/20
Introducción	6/12/20	6/12/20
Comunicación	6/12/20	6/12/20
Formación	7/12/20	7/12/20
Entrega final	10/12/20	5/01/21
Conclusiones	10/12/20	11/12/20
Glosario	12/12/20	12/12/20
Bibliografía	13/12/20	15/12/20
Revisión de la memoria de trabajo	16/12/20	25/12/20
Presentación TFG	26/12/20	5/01/21

Tabla 1: Planificación del Trabajo

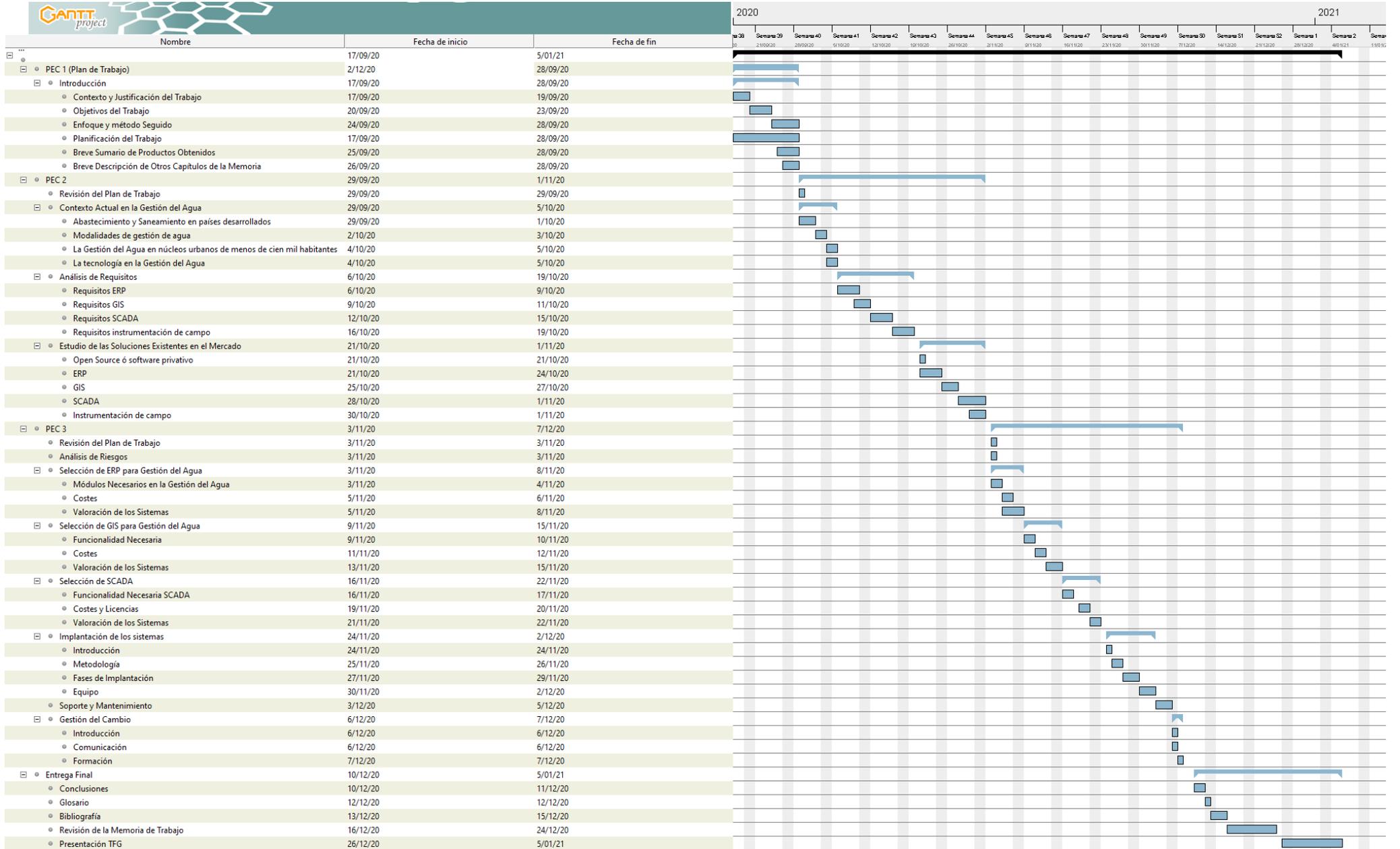


Ilustración 1: Planificación del trabajo

1.5 Breve resumen de productos obtenidos

- Memoria sobre la digitalización de una empresa pública de abastecimiento y saneamiento de agua en pequeños y medianos núcleos de población.
- Presentación sobre la implantación de sistemas de información en la gestión del abastecimiento y saneamiento de agua.

1.6 Breve descripción de los otros capítulos de la memoria

1. **Introducción.** Una breve aproximación al caso de trabajo, sus objetivos, necesidades y planificación.
2. **Contexto actual en la gestión del agua.** Muestra el contexto actual en este tipo de organizaciones, así como la problemática en los medianos y pequeños núcleos urbanos.
3. **Análisis de requisitos.** Se exponen los requisitos necesarios, así como los objetivos a alcanzar tras la implantación de la solución.
4. **Estudio de las soluciones existentes en el mercado.** Se expondrán de forma general las diferentes soluciones existentes en el mercado en ERP, GIS, SCADA e instrumentación de campo.
5. **Análisis de riesgos.** Evaluación de los riesgos inherentes al proyecto.
6. **Selección de ERP para gestión del agua.** Se propondrá un sistema de información integrado para su implantación.
7. **Selección de un GIS para gestión del agua.** Se propondrá un Sistema de Información Geográfica para su integración en el ERP.
8. **Selección de SCADA.** Se expondrán las diferentes soluciones SCADA del mercado.
9. **Implantación de los sistemas.** Se diseñarán las fases necesarias para llevarla a cabo de forma exitosa.
10. **Soporte y mantenimiento.** Fases futuras para el correcto funcionamiento del sistema.
11. **Gestión del cambio.** Actuaciones que se llevarán a cabo para la correcta adaptación de todos los implicados al nuevo sistema de información.
12. **Conclusiones.** Reflexiones alcanzadas tras la elaboración del proyecto.
13. **Trabajo futuro.** Una continuación el Trabajo Final de Grado.
14. **Glosario.** Palabras técnicas usadas en la elaboración de la memoria.
15. **Bibliografía.** Lista de fuentes consultadas.

2. Contexto actual de la gestión del agua

2.1 Abastecimiento y saneamiento de agua en países desarrollados

En la actualidad, en los países desarrollados, el abastecimiento y saneamiento de las aguas se engloba dentro del llamado ciclo integral del agua.

Con el fin de lograr una gestión sostenible y eficiente, es necesario poseer un conocimiento exhaustivo de todos los procesos que engloba este ciclo integral del agua, el cual es responsable de que los ciudadanos puedan realizar tareas aparentemente mundanas y sencillas, como tomar una ducha, cocinar o beber un vaso de agua. Detrás de todas estas acciones subyace un complejo sistema de relaciones e interconexiones.

El ciclo urbano del agua es el proceso que cubre los servicios de abastecimiento y saneamiento en los núcleos urbanos. En resumen, se trata de obtener agua de fuentes naturales, aplicar un tratamiento para su potabilización, distribuir el agua potable a las viviendas de los ciudadanos, retirar el agua una vez utilizada, transportarla por la red de colectores de saneamiento, depurarla y devolverla al medio natural con el menor impacto posible. Este ciclo se compone de seis etapas: [2]

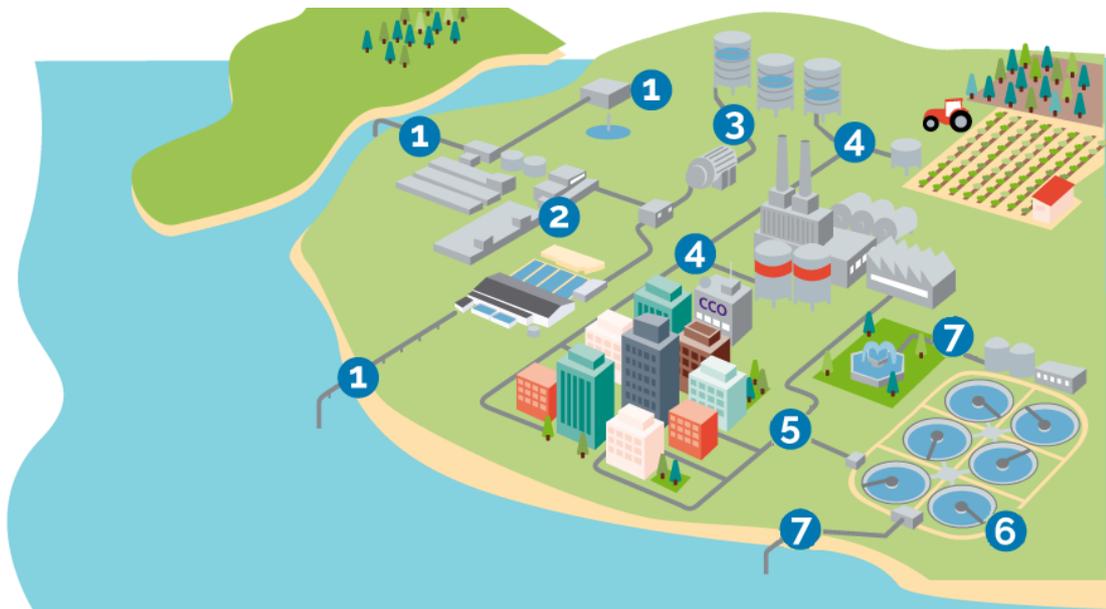


Ilustración 2: Ciclo integral del agua. Fuente: www.aiguesdebarcelona.cat

1. Captación

La primera etapa consiste en obtener agua del medio natural para cubrir las necesidades de consumo humano, así como otras tareas que requieran de agua potable, como la industria, el turismo, etc.

Esta captación puede realizarse de diversas maneras:

- Aguas superficiales, como embalses o ríos.
- Aguas subterráneas, como pozos conectados a acuíferos naturales.

También existe la posibilidad de obtener agua reutilizada tras su depuración para procesos que no incluyan el consumo humano, como riego o limpieza urbana.

2. Tratamiento

Una vez obtenida el agua, llamada en esta fase agua bruta, es necesario someterla a un tratamiento con el fin de obtener agua potable apta para consumo humano. Esta fase se realiza en las Estaciones de Tratamiento de Agua Potable (ETAP) o plantas de potabilización.

En estas plantas de tratamiento se combinan diferentes tecnologías: coagulación, sedimentación, filtración, cloración, reactivos, ozonización, etc.

3. Almacenamiento

Una vez obtenido el producto apto para consumo humano, el agua se transporta a través de un sistema de conducciones y se almacena en depósitos conectados con la red de abastecimiento. Estos depósitos se encuentran situados de forma estratégica con el fin de optimizar la energía (normalmente se construyen en zonas elevadas para aprovechar la presión por gravedad y evitar en la medida de lo posible la instalación de bombes y grupos de presión) y llegar a todos los consumidores.

También sirven para mantener el agua en condiciones óptimas para el consumo, mediante el análisis continuo y sistemas de cloración a la vez que permiten garantizar el suministro en situaciones de alta demanda.

4. Distribución

La red de distribución de agua potable se puede dividir a su vez en red alta y red baja. En la red alta, el agua se desplaza desde los depósitos de almacenamiento a través de conducciones de gran diámetro hasta la entrada de las poblaciones. En estas poblaciones se encuentra la red baja, en la cual se despliega una red mallada de tuberías de diámetro inferior que abastecen a los consumidores en sus domicilios.

5. Saneamiento

Una vez utilizada el agua, es necesario retirar el residuo en forma de agua desechada, el cual se llama comúnmente agua residual. Este residuo es recogido desde los domicilios de los usuarios y transportado a través de la red de saneamiento (compuesta por colectores y sistemas de bombeo) hasta las plantas de depuración.

6. Depuración

El agua residual se trata en las llamadas Estaciones Depuradoras de Agua Residual (EDAR). En estas instalaciones se produce un complejo proceso de tratamiento con el fin de reducir la contaminación del agua y poder devolverla al medio con el menor impacto medioambiental posible.

El agua es sometida a procesos físicos, químicos y biológicos (desbaste, desengrasado, decantación, retirada de fangos, reactor biológico, etc.) con el fin de eliminar contaminantes peligrosos para el medio ambiente.

7. Reutilización o retorno al medio natural.

Una vez depurada el agua, se devuelve al medio natural a través de ríos, ramblas o el mar. También es posible reutilizar el agua para riego de jardines, limpieza de la vía pública o alimentación de fuentes ornamentales.

2.2 Modalidades de gestión en el abastecimiento y saneamiento de agua

Existen diferentes formas que pueden adoptar las empresas de abastecimiento de agua y saneamiento para dar servicio a la población. Según el *artículo 85 de la ley reguladora de las bases del régimen local* [3], se pueden distinguir las siguientes modalidades:

- Gestión directa (cien por cien pública):
 - Gestión por la propia entidad local
 - Organismo autónomo local
 - Sociedad mercantil, cuyo capital social pertenezca íntegramente a la entidad local.
- Gestión indirecta (participación de iniciativas privadas):
 - Concesión
 - Gestión interesada
 - Concierto
 - Arrendamiento
 - Sociedad mercantil y cooperativas legalmente constituidas cuyo capital social solo parcialmente pertenezca a la entidad local (empresas mixtas)

No obstante, sea cual sea el modelo de gestión, el agua está considerada como un servicio público esencial, de modo que siempre debe prevalecer el interés general de la población en su gestión, y en última instancia, los poderes públicos tendrán siempre el control del servicio.

2.3 La gestión del agua en núcleos urbanos de menos de cien mil habitantes

En la actualidad, los grandes núcleos de población tienen, en líneas generales, grandes infraestructuras para el tratamiento y distribución del agua [4]. Del mismo modo, disponen de un grado de digitalización bastante elevado.

Sin embargo, en núcleos urbanos medianos y pequeños, se localizan dificultades a la hora de conectar las redes de abastecimiento a las grandes estaciones de tratamiento, así como problemas de toda índole debido a la baja digitalización de los procesos.

Estas redes de abastecimiento habitualmente disponen de una baja eficiencia, es decir, el volumen suministrado es mayor que el volumen registrado, hecho que confirma la pérdida de agua en algún punto de la red. Del mismo modo, la contaminación de las aguas residuales suele ser más elevada que en los grandes núcleos de población, debido a los bajos caudales y la concentración de residuos, así como la no existencia de monitorización continua de la calidad de las aguas.

Por último, la implantación de sistemas de información en este tipo de organizaciones es mayoritariamente deficiente o inexistente en muchos casos. Esto desemboca en un desconocimiento de la estructura de la red, así como una gestión ineficiente de la organización. Como consecuencia, el mantenimiento preventivo y planificación de este es insuficiente. Por lo tanto, aumenta el número de averías, los costes de explotación y la factura al usuario final, y por consiguiente disminuye la satisfacción de este.

2.4 La tecnología en la gestión del agua

Tal y como se expuso en la introducción, uno de los objetivos fijados a finales del siglo XX es la mejora de la optimización de los recursos hídricos. En este escenario, el uso de la tecnología y sistemas de información se convierte en una herramienta imprescindible para lograr tal objetivo. [5]

La principal ayuda que otorga la tecnología en la gestión del agua en núcleos urbanos se basa en la obtención de información en tiempo real sobre lo que sucede en la red de abastecimiento y saneamiento. En este escenario, los sistemas SCADA junto a la instrumentación de campo juegan un papel fundamental.

Las ventajas que ofrece la digitalización en una organización que gestiona el agua en una población son, entre otras, las siguientes:

- Conocer en cualquier momento dónde se ha producido una fuga de agua potable y cuál es la cantidad de agua perdida.
- Determinar el nivel de presión existente en toda la red de conducciones de abastecimiento
- Calcular el consumo instantáneo y acumulado de cualquier usuario de la red.

- Conocer los niveles de contaminación en las aguas residuales.
- Visualizar el nivel de cloro en un punto determinado, ya sea en una conducción o un depósito.
- Maniobrar válvulas de forma remota con el fin de guiar el agua por una determinada conducción o ajustar la presión al consumo instantáneo.
- Realizar un control de accesos más eficiente y disminuir el riesgo de bioterrorismo.
- En definitiva, una monitorización y control total de toda la red de abastecimiento y saneamiento.
- Correcto seguimiento de los planes de mantenimiento preventivo y correctivo.
- Mejora de los procesos propios de la organización tras la implantación de un ERP.
- Mayor conocimiento al detalle de la red tras implantar un Sistema de Información Geográfica.

3. Análisis de requisitos

3.1 Requisitos ERP

3.1.1 Requisitos generales ERP

Tal y como se ha estudiado en las diferentes asignaturas que componen el itinerario de *Sistemas de Información* en el grado de Ingeniería Informática, la estructura modular de un sistema ERP permite agrupar funcionalidades de las distintas áreas de negocio en lo que se conoce comúnmente como módulos. [6]

Estos módulos permiten también a la organización realizar una implantación del sistema por etapas, como ya se expondrá en apartados posteriores, así como atender las necesidades específicas de cada empresa de forma individualizada.

En el caso concreto de una organización que gestiona el abastecimiento y saneamiento en un núcleo urbano, serán necesarios los siguientes requisitos o módulos en un ERP:

- El sistema ERP debe ser escalable, con el fin de poder adaptarse al tamaño creciente de este tipo de organizaciones. Los núcleos urbanos tienden a crecer con el tiempo, y este número de habitantes es directamente proporcional al tamaño de organización.
- El sistema ERP debe ofrecer una interfaz sencilla y de alta usabilidad.
- El sistema ERP debe tener capacidad de integración con el resto de los sistemas a implantar. En especial, en el caso de GIS.
- Existirá una única base de datos, la cual contendrá toda la información de la organización y servirá a los diferentes módulos.
- El sistema debe proporcionar acceso a diferentes organizaciones que trabajen para la empresa principal mediante licitaciones (obras, servicios de mantenimiento, etc.)

3.1.2 Requisitos específicos por área [6]

- Área financiera
 - Módulo FI. Gestión financiera. Se trata del principal módulo del ERP. Contiene todos los datos relevantes de la empresa para la contabilidad financiera. A su vez dispondrá de estos submódulos:
 - FI-AA (*Assets Accounting* o Contabilidad de Activos). Gestiona amortizaciones, depreciaciones, vida útil, manejo contable, etc.
 - FI-AP (*Accounts Payable* o Cuentas por pagar). Gestiona pagos a proveedores, facturas, compras, etc.
 - FI-AR (*Accounts Receivable* o Cuentas por cobrar). Gestiona facturas a clientes, plazos de cobro, entregas, etc.

- FI-GL (*General Ledger* o Contabilidad general). Contiene balances, cuentas de resultados, auditorias, etc.
 - Módulo CO. Contabilidad de costes:
 - CO-OM. Gestiona todo lo relacionado con gastos e ingresos y proporciona información desde diferentes puntos de vista a partir de la información obtenida del módulo FI.
 - Módulo EC. Control corporativo. Es una herramienta importante para la toma de decisiones, y se abastece del resto de aplicaciones para obtener datos. Se utiliza para monitorear factores críticos de la organización. A su vez, contiene los siguientes submódulos:
 - EC-EIS (*Executive Information System* o sistema de información ejecutivo).
 - EC-PCA (*Profit Center Accounting*. El componente de contabilidad de centros de beneficios).
 - Módulo TR. Tesorería. Integra previsiones y gestión de recursos de caja. A su vez, se compone de submódulos:
 - TR-CM (*Cash Management* o gestión de caja)
 - TR-FM (*Funds Management* o gestión de fondos).
- Área Comercial:
 - Modulo SD (*Sell and distribution* o Ventas y distribución). Permite gestionar las actividades comerciales inherentes a la venta, tales como pedidos, promociones, campañas, etc.
- Área Recursos Humanos
 - Módulo HR. Recursos Humanos. Se encarga de la gestión de turnos y plantillas, absentismo laboral, formación, etc.
 - HR-PA (Administración de Personal)
 - HR-PD (Desarrollo de Personal)
- Módulos del área logística
 - Módulo PM. Mantenimiento: Este módulo da soporte a la gestión de repuestos, así como los informes de incidencia y seguimiento de plan de mantenimiento.
 - Módulo PS. Sistema de gestión de proyectos: Proporciona una solución integral para la gestión de todas las tareas de un proyecto.
 - Módulo MM. Gestión de materiales o aprovisionamiento: Gestiona lo concerniente a compras e inventarios de la organización.

3.2 Requisitos GIS

En el caso de las organizaciones que gestionan el abastecimiento y saneamiento de agua en poblaciones, el uso de un Sistema de Información Geográfica es muy importante. La explotación de las redes de abastecimiento y saneamiento de agua se desarrolla con el sistema de información Geográfica (GIS), el cual se

encuentra integrado en el ERP de la organización que gestiona todos los aspectos de la gestión diaria.[7]

En este sistema se encuentra actualizada toda la información de las infraestructuras hidráulicas y la disposición geográfica de cada elemento, así como su topología y características técnicas. Por consiguiente, se garantiza el acceso a la información desde cualquier punto de la red interna e incluso de forma externa a colaboradores y clientes.

Entre los requisitos exigibles, se encuentran:

- El sistema debe permitir consultas avanzadas de inventario en la red de agua. Esto incluye longitud de las redes, números de elementos hidráulicos por tipo, etc.
- Generación de mapas temáticos, con el fin de ofrecer una representación gráfica de la infraestructura.
- Integración de distintas redes y cartografías, tales como la red de abastecimiento, saneamiento, callejero, etc.
- Impresión de planos mediante plantillas predefinidas que faciliten el proceso.
- Gestión de cuencas hidrográficas.
- Debe permitir la vinculación con diferentes tipos de documentos, como fotografías.
- Modelado 3D.
- Integración con el resto de los sistemas (ERP).

3.3 Requisitos SCADA

La misión de un sistema SCADA es la adquisición de datos para recoger, procesar y almacenar la información recibida, así como la supervisión de cada uno de los procesos que se suceden en la red y permitir el control para modificar dichos procesos en un momento determinado.

En el caso de estudio, el sistema SCADA debe cumplir al menos los siguientes requisitos:

- Escalabilidad. Debe ser capaz de crecer y adaptarse, ya que, en este tipo de organizaciones, el número de estaciones remotas crecerá indefinidamente y, por lo tanto, lo hará el número de señales e información a gestionar.
- Permitir diferentes comunicaciones industriales. Es imprescindible que cuente con protocolo OPC.
- Los requisitos hardware no deben ser excesivos, preferiblemente con acceso web multiusuario, el cual permite acceder al SCADA desde dispositivos móviles o de forma remota.
- El sistema debe cumplir con todas las medidas de seguridad actuales en el campo de la ciberseguridad.
- El funcionamiento del SCADA debe ser transparente al usuario.

3.4 Requisitos instrumentación de campo

- Los dispositivos de medida con valores instantáneos dispondrán de salida analógica 4-20ma para facilitar su conexión a los distintos PLC y el envío de los datos al SCADA.
- El suministro eléctrico de toda la instrumentación de campo será de 24VDC (voltios en corriente continua), salvo en el caso de elementos que requieran un voltaje mayor (actuadores, bombas, etc.)
- Los dispositivos electrónicos situados en espacios confinados (arquetas, pozos de agua residual, colectores, etc.) dispondrán de la protección IP adecuada al medio en el que se encuentren instalados.
- Deberá diseñarse un plan de calibración para aquellos elementos de medida que lo necesiten, tanto por precisión de medida como por normativa legal.

4. Estudio de las soluciones existentes en el mercado

4.1 *Open Source* o software privativo en la administración pública

Este primer apartado se tratará de forma conjunta, y no individual, ya que afecta a todos los sistemas de información que se tratan en este trabajo.

La elección de implantar software libre o software privativo es un debate abierto desde hace tiempo, con grupos a favor y en contra. En 2017, 31 colectivos solicitaron, a nivel europeo, el uso de software libre por parte de las administraciones públicas europeas y sus países miembros.

En esta carta abierta se expusieron varios motivos para rechazar el uso de código privativo por parte de las administraciones públicas: [8]

- Prohíbe compartir e intercambiar código financiado con fondos públicos. Esto impide la cooperación entre las administraciones públicas y obstaculiza el desarrollo.
- Fomenta los monopolios y dificulta la competencia. El resultado es una administración pública dependiente de unas pocas empresas.
- Representa una amenaza a la seguridad de la vida digital de los ciudadanos. Resulta imposible reparar brechas de seguridad e incluso conocer la existencia de estas en algunas aplicaciones.

Este trabajo se apoyará sobre la premisa “¿Dinero público? ¡Código público!” de esta carta abierta para seleccionar en cada caso software de código abierto, y no solo por una cuestión de reducción de costes, ya que en algunos casos el código abierto es libre pero no gratis, sino por un afán de crear unos sistemas que se puedan usar, adaptar, estudiar y mejorar pública y libremente en cada organización que gestione el agua de una determinada población. Esta forma de proceder otorga flexibilidad, ya que facilita que empresas locales puedan prestar servicios sobre el software instalado ya que no está ligado a empresas concretas.

4.2 ERP

En el caso de los sistemas ERP (*Enterprise Resource Planning*), se puede encontrar en el mercado multitud de soluciones. Entre los elementos diferenciadores más importantes se incluyen los siguientes: [9]

En local o en la nube

Una de las decisiones más importantes a la hora de seleccionar un ERP, es la de escoger entre un ERP que se ejecute en hardware local de la organización o un sistema hospedado en un servidor remoto.

La diferencia más notable es el hecho de que un ERP local (*on premise*) se accede normalmente desde dispositivos en los que se encuentra instalado el sistema, mientras que a un ERP en la nube (*cloud*) es posible acceder desde cualquier lugar mediante cualquier dispositivo que disponga de acceso a internet. También hay que añadir que, en un sistema en la nube, la información queda almacenada en los servidores del proveedor del servicio. Este proveedor normalmente realiza copias de seguridad diarias de los datos y de esta manera se obtiene una mayor fiabilidad en caso de necesidad de recuperación.

A medida o prediseñado

Las organizaciones de tamaño medio o grande suelen implantar sistemas de información diseñados a medida, ya que es la manera de que el producto encaje al cien por cien con los requisitos que se demandan. Este tipo de soluciones se desarrollan según las necesidades y exigencias del cliente.

El problema, como es evidente, radica en que una solución a medida incrementa de forma notable el coste de desarrollo e implantación, y esto es algo que las pequeñas o la mayoría de las medianas empresas no pueden afrontar. Además, en este tipo de implantaciones hay que encontrar una empresa especialista que pueda abarcar todo el proyecto y de además el tiempo total requerido se verá incrementado en gran medida.

En el caso de estudio de este trabajo, y debido al tamaño de este tipo de empresas, se recurrirá a soluciones ya prediseñadas para satisfacer las necesidades de la organización de gestión de agua. Se trata de soluciones que se componen de módulos, los cuales se pueden añadir o eliminar según se requiera. Como resultado, en la actualidad, los ERP prediseñados cubren la inmensa mayoría de necesidades de cualquier pequeña o mediana organización.

Software ERP vertical u horizontal

Otro tipo de clasificación de ERP se basa en la capacidad de adaptación a los distintos sectores y actividades económicas.

En este caso se pueden dividir en dos tipos:

- ERP verticales. Se desarrollan para una actividad empresarial concreta, con características específicas. Este tipo de ERP es el más indicado para sectores que poseen particularidades no comunes al resto.
- ERP horizontales. Se diseñan con funciones mucho más generales, con el fin de ser de utilidad en negocios de todo tipo. El precio de este tipo de ERP suele ser más reducido que el de los ERP verticales a cambio de renunciar a características específicas para ciertos sectores. Están indicados para PYMES, en las que la gestión es relativamente sencilla.

4.2.1 Odoo



Ilustración 3: Logo del ERP Odoo. Fuente: www.odoo.com

4.2.1.1 Descripción

Sitio web oficial: https://www.odoo.com/es_ES/

Odoo es un ERP en desarrollo actualmente por la empresa Odoo S.A. con sede en Bélgica. Se trata de una de las soluciones de gestión más populares del mundo y cuenta con más de dos millones de usuarios repartidos a través de 120 países. Su comunidad de desarrolladores está compuesta por unas 1500 personas que tratan de adaptar el *software* al entorno cambiante de la era digital.

La primera versión de este ERP nació en el año 2000 bajo el nombre de TinyERP. Más tarde, en el año 2008, la empresa pasó a llamarse OpenERP y finalmente Odoo tras la versión 8.0. Se trata del ERP de código abierto más avanzado del mercado en cuanto a nivel tecnológico y posee funcionalidades de CRM y E-Commerce que permiten a la organización aprovechar al máximo todas las oportunidades de negocio en su sector. No en vano, empresas de la talla de Danone o Alcampo utilizan Odoo para la gestión de su negocio.

4.2.1.2 Características generales

Una característica destacable de Odoo es la posibilidad de trabajar de forma remota mediante interfaz web. Esto significa que es posible acceder al sistema desde cualquier dispositivo del mundo conectado a internet que disponga de un navegador web.

Los flujos de trabajo disponen de una arquitectura Modelo-Vista-Servidor y una interfaz gráfica dinámica y sencilla para el usuario. Además, estos son flexibles mediante el uso de una base de datos relacional PostgreSQL. Todo ello redundando en un sistema sólido y estable. Esta arquitectura cliente/servidor permite que todos los usuarios trabajen sobre el mismo repositorio de datos de forma consistente. Del mismo modo, existe también una vista mostrada mediante XML, un controlador desarrollado mediante Python y un sistema de reportes que permiten la personalización de los informes con integración en libreoffice.org. El código fuente de Odoo se aloja en Github y utiliza un sistema de control de

versiones Git. A partir del año 2009 las diferentes contribuciones al proyecto se administran mediante Github.

Este ERP dispone de más de 1500 módulos con soluciones verticales para diferentes áreas de negocio. Dentro de los módulos base que permiten la gestión de las distintas áreas funcionales de una organización encontramos:

- Gestión de la relación con los clientes (CRM)
- Gestión de TPV (terminal de punto de venta)
- Gestión de almacenes.
- Gestión de RRHH.
- Gestión de ventas y compras.
- Gestión de la contabilidad analítica y financiera.
- Gestión de inventarios.
- Gestión empresarial de proyectos (EPM).
- Gestión de manufactura, incluyendo:
 - Planificador de necesidades de materiales (MRP)
 - Gestión del ciclo de vida del producto (PLM)
- Mantenimiento
- Calidad

4.2.2 Dolibarr



Ilustración 4: Logo del ERP Dolibarr. Fuente: www.dolibarr.es

4.2.2.1 Descripción

Sitio web oficial: <https://www.dolibarr.es/>

Dolibarr es un ERP *Open Source* cuyo funcionamiento se basa en aplicaciones que se ejecutan de forma centralizada a través de tecnología web. Está enfocado a la pequeña y mediana empresa que necesite implantar un sistema de gestión empresarial.

El funcionamiento del sistema posee las características típicas del software de código abierto, con unos costes de instalación mínimos o incluso coste cero dependiendo del tipo de licencia que se adquiera. De igual forma, este ERP es altamente adaptable y escalable a las necesidades de la organización debido al apoyo de la comunidad que mantiene un desarrollo constante de las características.

Hay que tener en cuenta que Dolibarr se encuentra disponible de forma exclusiva como aplicación de escritorio, por lo tanto, en la actualidad no es posible acceder de forma remota a esta herramienta, salvo desarrollo ad hoc.

4.2.2.2 Características generales

Las funcionalidades que el sistema Dolibarr tiene actualmente para cubrir las necesidades de las organizaciones son:

- Gestión financiera
- Generación de informes
- Compras y ventas
- Mantenimiento
- Facturación
- Recursos humanos
- Logística y almacén
- Control de personal

4.2.3 Compiere



Ilustración 5: Logo del ERP Compiere. Fuente: www.compiere.com

4.2.3.1 Descripción

Sitio web oficial: <http://www.compiere.com/>

Compiere fue la primera solución ERP Open Source del mercado, creada a partir de las necesidades de Goodyear en Alemania e implantada en el año 2000. Destinada para las empresas de pequeño y mediano tamaño y con una gran expansión en el mercado anglosajón en los últimos años, este software, en la actualidad, es utilizado en más de 10 países.

4.2.3.2 Características generales

Compiere tiene la capacidad de operar en una variada gama de redes y sistemas operativos, tales como Unix, Windows, Linux y Mac OS X. Compiere utiliza el servidor de aplicaciones WildFly y el código fuente se provee en base de libre distribución bajo los términos de la Mozilla Public License. Esta licencia permite

a los usuarios desarrollar funcionalidades adicionales y utilizarlos internamente o inclusive licenciar mediante un cargo a terceras partes, sin la obligación de devolver la mejora a la comunidad Open Source.

Desde la versión 2.5.2, Compiere es independiente de la base de datos, y existe una infraestructura para la conexión a múltiples bases de datos, no obstante, la única base de datos oficial soportada por el desarrollador es la de Oracle.

Desarrollado también en JAVA EE, como se indica anteriormente para el sistema Adempiere, Compiere está enteramente basado en el concepto del Diccionario de datos Activo, conteniendo las definiciones de una entidad de datos, la forma con la que se visualiza, las reglas de visualización y las normas de seguridad y acceso.

Los principales módulos estándar que ofrece Compiere son los siguientes:

- Gestión de la cadena de suministro (SCM)
- Gestión de la relación con los clientes (CRM)
- Gestión de órdenes de venta.
- Gestión de cuentas y cobros.
- Gestión de pagos.
- Gestión de relaciones con socios.
- Gestión de reportes y análisis de resultados.
- Administración de tienda en línea y autoservicio

4.2.4 Adempiere



Ilustración 6: Logo del ERP Adempiere. Fuente: www.adempiere.org

4.2.4.1 Descripción

Sitio web oficial: <http://adempiere.org/site/>

Adempiere es un ERP de código abierto que ofrece funcionalidades de CRM y SCM, enfocándose en los procesos de la empresa y los flujos de operaciones y sus relaciones con los clientes. Su origen se remonta al año 2006, año en el que el proyecto Compiere se divide debido a las diferencias existentes entre sus desarrolladores. En la actualidad este software es desarrollado por una comunidad de usuarios y desarrolladores de todo el mundo, especialmente en Latinoamérica. Su código es compartido sin ningún tipo de restricción.

4.2.4.2 Características generales

Adempiere posee las características típicas de una aplicación denominada “*open source*”:

- No existen costes de licencias ni de actualizaciones.
- El código fuente está siempre disponible.
- Utiliza estándares abiertos minimizando el riesgo de tecnología propietaria, dando mayor independencia tecnológica e interoperabilidad.
- Elimina la dependencia de una empresa proveedora de licencias.
- A diferencia de lo que sucede en el software propietario, los errores de software descubiertos son rápidamente analizados y corregidos.

La aplicación está desarrollada con tecnología J2EE; específicamente utiliza el servidor de aplicaciones JBoss (WildFly en la actualidad). Actualmente el soporte de bases de datos está restringido a Oracle, PostgreSQL y MySQL.

Atemperé dispone de una Arquitectura dirigida por Modelos (MDA) por lo que la funcionalidad del sistema es independiente de la plataforma. Esta característica permite una fácil adaptación y escalabilidad de la aplicación, sin necesidad de codificación.

Utiliza el Diccionario de Datos heredado del proyecto Compiere, el cual hace posible la administración de entidades, reglas de validación, como así también que el formato de pantalla y la lógica de desarrollo sean controlados dentro de la misma aplicación de manera totalmente dinámica.

Además, utiliza un motor de flujos de trabajo (*Workflow Engine*) basada en los estándares WFMC y OMG para proveer la administración de los procesos de negocio.

Los módulos que ofrece la aplicación se indican a continuación:

- Gestión y control de inventario.
- Gestión de flujos de materiales.
- Gestión de ventas.
- Gestión de pagos y cobros.
- Gestión de la cadena de suministro (SCM)
- Gestión de la relación con los clientes (CRM)
- Gestión de la contabilidad y análisis de resultados.
- Administración de tienda en línea y autoservicio.
- Gestión de planificación de requerimientos de materiales (MRP)

4.3 GIS

En el conjunto de los Sistemas de Información Geográfica (SIG), se pueden encontrar diferentes tipos de herramientas que permiten crear, gestionar y analizar la información geográfica de muchas formas diferentes. En estos sistemas de información, la diferencia fundamental es el tipo de información con que trabaja de forma mayoritaria el SIG. Por lo tanto, se pueden clasificar en dos tipos: [10]

- SIG ráster. Se basan en la utilización de capas ráster, las cuales consisten en una malla rectangular de celdillas cuadradas o píxeles. Existe un número por cada celdilla, y este número contiene la información necesaria para modelar un aspecto del medio. Se suelen utilizar para modelar aspectos cuantitativos del medio.
- SIG vectorial. En este caso, se utilizan un conjunto de puntos, líneas y polígonos para modelar el medio. Este tipo de SIG son adecuados para modelar aspectos poco variables, generalmente cualitativos.

Además, por sus objetivos y funcionalidades, los programas de SIG se pueden clasificar en los siguientes cinco grupos: [11]

- Visualizadores de datos (*viewers*). En estos sistemas solo se permite visualizar la información y, en algunos casos, realizar un análisis básico sobre ella. A este tipo de SIG pertenecen soluciones software como ArcExplorer o GeoMedia Viewer.
- Programas SIG profesionales. Poseen una gestión eficiente de datos de diferentes fuentes, así como la explotación de estos para la formación de mapas, generación de datos o acceso desde servicios SIG web. A este tipo de sistemas pertenecen soluciones como gvSig.
- SIG web (GeoWeb). Se basan en un entorno web para desarrollo y visualización. Permiten disponer de información geográfica y realizar análisis de carácter espacial. A este grupo pertenece, por ejemplo, ArcWeb Services.
- Sistemas SIG a medida. Se desarrollan para cubrir necesidades específicas. Son utilizados comúnmente en sistemas de navegación para turismos y aeronaves, o en telefonía y dispositivos móviles.

4.3.1 OpenJump



Ilustración 7: Logo del GIS OpenJump. Fuente: www.openjump.org

4.3.1.1 Descripción

Sitio web oficial: <http://www.openjump.org/>

OpenJUMP es un Sistema de Información Geográfica *open source* que permite realizar consultas, además de editar y crear datos geográficos en diferentes formatos. Está desarrollado en Java y es un software multiplataforma, es decir, es capaz de ejecutarse en distintos entornos tales como Windows, Mac OS y Linux.

OpenJUMP trata de ser operativo con otros sistemas SIG, y para ello están impulsando el estándar de datos GIS GML.

4.3.1.2 Características generales

- Compatible con estándares como WMS, WFS y SLD.
- Entorno de programación GIS extensible para aplicaciones propias de los SIG.
- Compatible con múltiples idiomas.
- Independiente de plataforma (compatible con Windows, Linux, Unix, Macintosh)
- Lee y escribe ESRI Shapefile, y archivos GML, DXF y PostGIS.
- Lee tanto archivos de mapa de bits (BMP), como TIFF, JPEG, PNG y ECW.
- Guarda vistas georreferenciadas, rasterizadas en formatos JPEG y PNG.
- Edición completa de la geometría y atributos.
- Compatible con OpenGIS SFS.
- Algoritmos de geometría basados en Java Topology Suite (JTS).

- Existe numerosos *plugins* de terceros (por ejemplo, para conexión a PostGIS, base de datos, etc.
- Sin cargo para descarga o uso (gratuito)
- Licencia de código abierto (Open Source): GPL.

4.3.2 QGIS



Ilustración 8: Logo del GIS QGIS. Fuente: www.qgis.org

4.3.2.1 Descripción

Sitio web oficial: <https://www.qgis.org/es/site/>

QGIS es un sistema de información geográfica con una interfaz sencilla, donde es posible visualizar, editar y analizar datos, así como componer mapas. Es posible su integración con GRASS, SAGA entre otros. Es posible ejecutarlo en entornos Linux, Mac OS y Windows y soporta diversos formatos de vector, ráster y BBDD.

4.3.2.2 Características generales

- Interfaz de usuario gráfica amigable:
 - Permite identificar/seleccionar objetos espaciales.
 - Editar/ver/buscar atributos.
 - Es posible realizar proyecciones al vuelo.
 - Compositor de impresión.
 - Función de etiquetado.
 - Facilita el cambio entre simbología vectorial y ráster.
 - Trabaja con capas de graticula.
- Fácil visualización de varios Formatos Vectoriales y Ráster:
 - Tablas de base de datos: PostgreSQL/PostGIS, Oracle Spatial, MS SQL Spatial, SpatiaLite.
 - Formatos vectoriales: incluyendo ESRI shapefiles, Marino, SDTS and GML, vectores OpenStreetMap.
 - Formatos Ráster como modelos digitales de elevación, fotografía aérea o imágenes landsat.
 - GRASS en ubicaciones y conjuntos de mapas.

- Datos espaciales en línea servidos como OGC-compliant WMS, WMTS, WFS o WCS.
- Soporte de renderizado 2.5D.
- Permite crear, editar y exportar datos espaciales utilizando:
 - Digitalización de herramientas GRASS y formatos de archivos *shape*.
 - Plugin georreferenciador.
 - Herramientas GPS para importar y exportar en formato GPX, convertir otros formatos GPS a GPX, o descargar/cargar directamente a una unidad GPS
- Análisis espacial con soporte integrado para SAGA, OTB, MMGIS y GRASS:
 - Mapa de álgebra.
 - Análisis del terreno.
 - Modelación hidrológica.
 - Análisis de red.
 - Caja de herramientas con capacidad de búsqueda.
 - Permite definir y ejecutar rutinas de análisis reutilizables por encadenamiento de funciones usando una herramienta gráfica de modelado.
- Publicación en la red.
- Arquitectura de plugin extensible.
- Estándares Implementados:
 - OGC *standards compliant* (WMS, WFS, ...)

4.3.3 SAGA



Ilustración 9: Logo del GIS SAGA. Fuente: www.saga-gis.org

4.3.3.1 Descripción

Sitio web oficial: <http://www.saga-gis.org/en/index.html>

El sistema de información geográfica SAGA está desarrollado bajo tipo de licencia *open source*. Permite editar y analizar espacios vectoriales, tablas, cuadrículas e imágenes. El sistema tiene integrados diferentes módulos para geoestadística, clasificación de imágenes y simulación de procesos dinámicos y de terreno. Es posible interactuar con el sistema mediante línea de comandos o interfaz gráfica. Está desarrollado en C++.

Desde el año 2001, SAGA ha sido desarrollado desde el Instituto de Geografía de la Universidad de Hamburgo, además de las continuas aportaciones de la comunidad que rodea este sistema.

4.3.3.2 Características generales

- Acceso a una gran cantidad de módulos científicos a través de la Interfaz gráfica de usuario o la línea de comando. Posee las siguientes características:
 - Importar/Exportar a diferentes formatos de archivo.
 - Reproyección/Remuestreo de datos.
 - Manipulación de datos vectoriales (fusión/intersección/atributos).
 - Manipulación de nubes de puntos.
 - Datos ráster: interpolación, análisis de costes, etc.
 - Análisis de imágenes: filtros, detección de bordes, análisis de clústeres, segmentación.
 - Análisis Digital de Terreno: genera índices geo morfométrico, redes de canales, perfiles, curvas de nivel, ...
 - Geoestadística: módulos para el montaje de variograma y kriging.
- Interfaz de usuario rápida para administrar y visualizar datos
 - Visualización 3D
- API Directa de C++ para crear nuevos módulos.
- Creación de scripts a través de línea de comandos con enlaces para Python.
- Es posible acceder a SAGA desde el lenguaje estadístico R a través del módulo RSAGA.

4.3.4 gvSig



Ilustración 10: Logo del GIS gvSig. Fuente: www.gvsig.com

4.3.4.1 Descripción

Sitio web oficial: <http://www.gvsig.com/es>

gvSIG es una aplicación de Sistema de Información Geográfica (SIG) de escritorio, diseñada para capturar, almacenar, manejar, analizar e implementar cualquier clase de información geográfica referenciada para resolver problemas complejos de administración y planificación. gvSIG es conocido por su interfaz fácil de usar y por ser capaz de acceder a todos los formatos comunes de vector y ráster. Presenta una amplia gama de herramientas para trabajar con información geográfica (consulta, creación de diseños, geoprocésamiento, redes, etc.), que convierte a gvSIG en una herramienta habitual para los usuarios que trabajan en el ámbito terrestre.

Este sistema de información geográfica está disponible en aplicación de escritorio y permite capturar, almacenar, manejar, analizar e implementar todo tipo de información geográfica. gvSig posee una sencilla interfaz y la capacidad de trabajar con formatos ráster y vector. Además, tiene integradas diversas herramientas para trabajar con la información geográfica.

Es posible integrar los datos locales y remotos de gvSig a través de estándares OGC (Open Geospatial Consortium). Además, está disponible para sistemas Mac OS y Windows y traducido a más de 20 idiomas.

4.3.4.2 Características generales

- Contiene herramientas SIG como carga de datos, navegación, información del mapa, mediciones, cartografía, leyendas, etiquetado, vinculación de tablas, CAD, procesamiento ráster, etc.
- Es un sistema interoperable, es decir, es capaz de trabajar con la mayoría de los formatos de datos conocidos en sistemas SIG:
 - Raster: ecw, ENVI hdr, ERDAS img, (Geo)TIFF, GRASS, NetCDF...
 - Vectorial y CAD: *shapefile*, NetCDF, GML, KML, DGN, DXF, DWG.
 - Bases de datos: PostGIS, MySQL, Oracle, ArcSDE.
 - Cálculo remoto: estándares OGC (WMS, WMTS, WFS, WCS), OSM, ECWP, ArcIMS.
- Cliente de servicios de descubrimiento para localizar recursos de datos dentro de una IDE (servicios Catálogo y gazeteer):
 - Catálogos: Z3950, SRW, CSW (ISO/19115 y ebRIM).
 - Nomenclátors: ADL, WFS, WFS-G.
- Posee geo algoritmos a través de la biblioteca SEXTANTE.
- Herramientas de CAD avanzadas integradas:
 - Datos vectoriales: modificar, creación y borrado de elementos.
 - Existencia de consola de comandos en el software de CAD.
 - Herramientas como ayuda, retícula, conjunto de comandos, selecciones de elementos complejos, etc.
 - Herramientas para insertar elementos como puntos, polígonos, líneas, elipses, etcétera...
 - Herramientas para modificar su rotación, escala, simetría...
 - Herramientas avanzadas de ráster integradas.
 - Exportación y recorte.
 - Búsqueda en tablas, histograma, etc.

- Filtros y vectorización.
- Vista General y regiones de gestión de intereses.
- Vista 3D
- Otras características:
 - Soporte para scripts (para datos vectoriales y ráster).
 - Motor potente de reproyección vía PROJ4.
 - Importación y exportación de conjuntos de símbolos.
 - Compositor de hojas del mapa.
 - Cartas.
 - Herramientas avanzadas de simbología.
 - Avanzadas herramientas de etiquetado.
 - Extensión de publicación.
 - Distribuciones personalizadas.

4.4 SCADA

Los sistemas SCADA disponibles en el mercado actualmente son muy similares y utilizan una variedad de componentes y software “*Mix and Match*” (mezcla y combina). Por consiguiente, las diferencias entre sistemas son en esencia generacionales.

Se pueden distinguir principalmente tres generaciones: [12]

- Sistemas monolíticos. Estos primeros sistemas SCADA mantenían todas las operaciones en un solo servidor, que funcionaba como servidor central. El control era escaso, y principalmente se realizaban tareas de monitorización y se limitaban a una sola planta de producción. Además, todos los sistemas eran propiedad de sus proveedores y no existía software libre.
- Sistemas distribuidos. Los sistemas SCADA posteriores se conocieron como sistemas distribuidos. De forma simplificado, se puede exponer este paradigma como un conjunto de PC conectados en LAN y compartiendo información sobre los procesos.
- Sistemas SCADA en red. Los sistemas actuales suelen estar conectados en red. Se comunican a través de redes ethernet o fibra óptica. Estos sistemas se valen del uso de PLC, controladores lógicos programables, que permiten supervisión y control en tiempo real, además de automatismos que no requieren la acción de un operador para el proceso. Estos sistemas SCADA, al estar conectados en la red, pueden sufrir problemas de ciberseguridad.

En cuanto a funcionalidad, se pueden distinguir dos tipos:

- Sistema SCADA de lazo abierto. En los sistemas de lazo abierto o no realimentados, no se compara la variable controlada con una entrada de referencia. Cada ajuste de entrada determina una posición de funcionamiento fijo en los elementos de control.
- Sistema SCADA de lazo cerrado. Los sistemas de lazo cerrado o realimentados, funcionan de tal manera que hace que el sistema se

realmente, la salida vuelve al principio para que analice la diferencia y en una segunda opción ajuste más, así hasta que el error es 0.

4.4.1 OpenScada



Ilustración 11: Logo del SCADA openscada. Fuente: www.openscada.org

4.4.1.1 Descripción general

Sitio web oficial: www.openscada.org

OpenSCADA es un sistema SCADA o HMI (*Human Machine Interface*) construido bajo los principios de modularidad, multiplataforma y escalabilidad. Es ampliamente utilizado en la gestión, automatización, supervisión y control de procesos industriales.

OpenSCADA es un sistema SCADA o HMI *Open Source* construido sobre principios de modularidad, multiplataforma y escalabilidad. SCADA (*Supervisory Control And Data Acquisition*) o Interfaz Hombre-Máquina (HMI) son los términos que se utilizan a menudo en el ámbito de la automatización de los procesos tecnológicos. Es ampliamente utilizado en la gestión, automatización, supervisión y control de procesos industriales. OpenSCADA está genéricamente destinado a: adquisición, archivo (históricos), visualización de la información, activación de ordenes de control, y también para otras operaciones relacionadas, que son características de los sistemas SCADA o HMI.

4.4.1.2 Características generales

- Interfaz de usuario
 - Visualización remota mediante servidor VCA
 - Servidor de visualización remota
 - Interfaz web remota
 - Interfaces remotas sencillas para el usuario
- Recolección de información de campo y transporte a alto nivel

- Interfaces
 - Serie: RS232, RS485, Modem, ...
 - IP sockets y protocolos de red TCP, UDP and Unix
 - Capa de seguridad SSL
- Protocolos de comunicación
 - Protocolo propio de OpenSCADA
 - ModBus: TCP, RTU y ASCII
 - "OPC-UA"
 - Es posible añadir protocolos desarrollados por la comunidad
- A través de DBMS (*DataBase Management System*)
 - MySQL
 - PostgreSQL
 - FireBird
 - DBGate — Base de datos propia de OpenSCADA
 - ODBC — *Open Database Connectivity*
- Configuración y desarrollo
 - Configuración remota, a través de interfaz web
 - Desarrollo remoto, a través de la estación de configuración.
- Lenguajes de programación soportados
 - JavaLikeCalc — Lenguaje de alto nivel similar a Javascript o Java
 - Diagramas de bloques
- Almacenamiento de datos del proyecto
 - Archivos de configuración
- Base de datos
 - SQLite
 - MySQL
 - PostgreSQL
 - FireBird
 - DBGate — Base de datos propia de OpenSCADA
 - ODBC — *Open Database Connectivity*
 - DBF
 - Directorios a través de LDAP (*Lightweight Directory Access Protocol*)

4.4.2 Rapid Scada

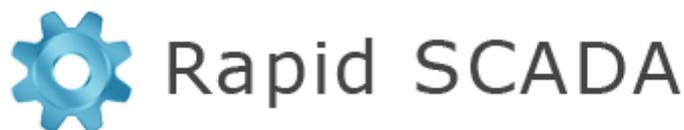


Ilustración 12: Logo del SCADA Rapid Scada. Fuente: www.rapidscada.org

4.4.2.1 Descripción

Sitio web oficial: <https://rapidscada.org/>

Rapid SCADA es una plataforma de automatización industrial de código abierto. El software, que se distribuye *out of the box* (listo para usar), proporciona herramientas para la rápida creación de sistemas de monitoreo y control.

El código *open source* es la clave de la transparencia y la seguridad del software. El modelo de licencias permite la creación de nuevos productos de software derivados.

Rapid SCADA es capaz de soportar grandes sistemas distribuidos de automatización industrial. Además, se ejecuta en servidores, computadoras integradas y en la nube. Los nodos de Rapid SCADA intercambian información entre ellos e interactúan con bases de datos externas en tiempo real.

Las principales aplicaciones desarrolladas usando Rapid SCADA son las siguientes:

- Sistemas de automatización industrial y sistemas IoT.
- Sistemas de control de procesos.
- Sistemas de contabilidad de la energía.

4.4.2.2 Características generales

- Compatible con Windows y Linux.
- Número máximo de canales de entrada 65535.
- Número máximo de canales de salida 65535.
- Número máximo de líneas de comunicación 65535.
- Número máximo de dispositivos 65535.
- Período mínimo de escritura de datos 1 segundo.
- Período mínimo de escritura de datos en archivo 30 segundos.
- Período máximo de almacenamiento de datos en archivo 10 años.
- Copia de Seguridad Automática del registro.
- Opción de autenticación *Active Directory*.
- Protocolo de comunicación entre las aplicaciones TCP.
- RS guarda sus propias acciones y las del usuario en archivos de registro.
- Opción de deshabilitar comandos de telecontrol.
- Funcionalidad expandible.
- El software es de código abierto.
- Protocolos de comunicación soportados:
 - Modbus
 - RTU.
 - ASCII.
 - TCP.
 - OPC
 - UA.
 - AE.
 - DA.
 - SNMP
 - GET.

- SET.
- SMTP
 - Envío de email.
 - Notificaciones.
- Comando AT
 - Envío y recepción de mensajes de texto.
- MQTT
- M-Bus

4.4.3 SCADABR



Ilustración 13: Logo del SCADA SCADABR. Fuente: www.scadabr.com.br

4.4.3.1 Descripción

Sitio web oficial: <https://www.scadabr.com.br/>

SCADABR es un sistema SCADA que permite registrar, generar informes, así como la supervisión y control de un sistema. Parte de un proyecto anterior llamado MANGO M2M antes de que este último fuera comprado por la empresa Infinite Automation.

4.4.3.2 Características generales

- Motor de eventos y alarmas parametrizables.
- Alarmas audibles.
- Sistema de permisos de usuario.
- Reportes de variables, alarmas y eventos.
- Motor de scripting para control, automatización y lotes, entre otros.
- Entorno de desarrollo para aplicaciones SCADA.
- Acceso desde navegador web (escritorio, móvil).
- API con ejemplos en Java, Visual Basic, PHP y Python, entre otros.
- Adquisición de datos en más de 20 protocolos como: Modbus TCP / IP y Serial, OPC, DNP3, IEC, Serial ASCII, HTTP, entre otros.
- Variables calculadas (con funciones matemáticas, estadísticas y lógicas en general).
- Visualización de datos en tiempo real (variables o "etiquetas").

- Registro continuo de variables en una base de datos (Historian / Datalogger).
- Construcción de pantallas gráficas (HMI o sinóptico).

4.4.4 SCADA-LTS



Ilustración 14: Logo del SCADA SCADA-LTS. Fuente: www.scada-lts.org

4.4.4.1 Descripción

Sitio web oficial: <http://scada-lts.org/>

SCADA-LTS es una solución de código abierto, basada en la web y multiplataforma para construir un sistema SCADA (*Supervisory Control and Data Acquisition*).

Es un proyecto que ha ido convergiendo con el paso del tiempo con SCADABR. Es utilizado en aplicaciones SCADA del mundo real para Energía, Distribución de Agua, Plantas de Manufactura, Automatización del Hogar, Laboratorios...

Con SCADA-LTS es posible desarrollar de forma rápida sistemas funcionales debido a sus protocolos de comunicación, el motor de adquisición de datos, Alarmas y Eventos, y el constructor de HMI.

SCADA-LTS provee una solución rápida para aplicaciones de supervisión y control a la vez que el conocimiento es compartido entre su comunidad.

4.4.4.2 Características generales

- Arquitectura del software
 - Desarrollado en Java – El servidor puede ser ejecutado bajo diferentes plataformas (PC/Mac/Linux)
 - Distribuido en archivo .WAR (multiplataforma) así como instalador para sistemas Windows.
 - La interfaz de usuario es compatible con navegador web. No es necesaria la instalación de un cliente de escritorio.
 - API 's SOAP y REST para integración personalizada.
- Características estándar
 - Motor de adquisición de datos.
 - Listas de visualización – Visualización de puntos en tiempo real.

- Jerarquía en los tipos de datos que permite organizar de forma eficiente.
- Creador de vistas gráficas (También conocidas como HMI o sinópticos).
- Informes de datos con gráficos incorporados.
- Sistema de acceso seguro para usuarios.
- Motor de Scripting para crear al vuelo cálculos, consignas y comandos.
- Traducido a varios idiomas (inglés, portugués, español...).
- Protocolos de comunicación soportados
 - Modbus TCP/IP.
 - DNP3.
 - IEC 101.
 - OPC DA 2.0.
 - ASCII Serie y lectura de ficheros.
 - HTTP Listeners.
 - HTTP Receivers (Get/Post) con parseador.
 - Conectores SQL.

4.5 Instrumentación de campo

Se detalla a continuación la instrumentación de campo mínima necesaria para la correcta gestión del abastecimiento y saneamiento de agua en una pequeña y mediana población.[13]

4.5.1 Sensores de presión

Los sensores de presión o transductores de presión son elementos que transforman una magnitud física, fuerza por unidad de superficie, en una magnitud eléctrica que será la que empleen los equipos de automatización industrial. Los rangos de medida pueden ser muy amplios, desde unos milibares hasta miles de bar. En el caso de una red de distribución de agua potable, el rango típico suele estar entre 1 y 10 bar, aunque en instalaciones con alta presión puede ser necesario la instalación de sensores con un rango máximo de 20 bar.



Ilustración 15: Transductor de presión. Fuente: <http://danfoss.cohimar.com/>

4.5.2 Sensores de flujo

En esencia, estos sensores miden la velocidad con la que un fluido se desplaza a través de un medio. Estos dispositivos, instalados en una tubería que transporta agua, permiten determinar si hay circulación de este fluido y a qué velocidad se desplaza. Normalmente en redes de distribución de agua se utiliza la medida de metros cúbicos por hora (m^3/h).

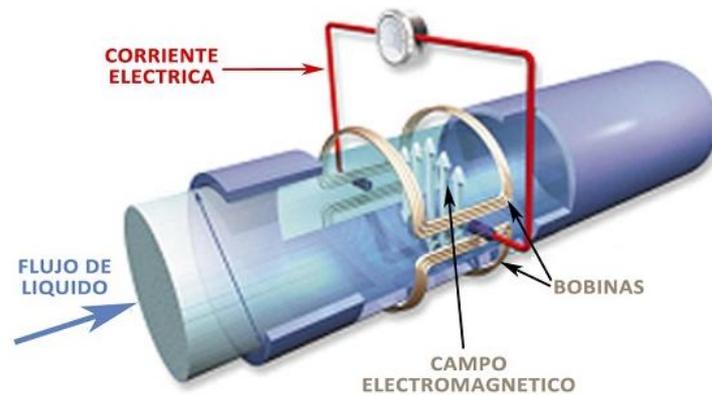


Ilustración 16: Caudalímetro electromagnético. Fuente: <https://www.contatec.es/>

4.5.3 Sensores de nivel

Este tipo de sensor se suele instalar en los depósitos de agua potable. Es crítico conocer el nivel de agua que hay en cada depósito, con el fin de poder abastecer de forma eficaz la demanda de la población en tiempo real. Se pueden dividir en dos tipos: aquellos que miden la lámina de agua mediante ultrasonidos o radar, y los que miden la presión hidrostática (estos últimos se encuentran sumergidos en el fondo del depósito).

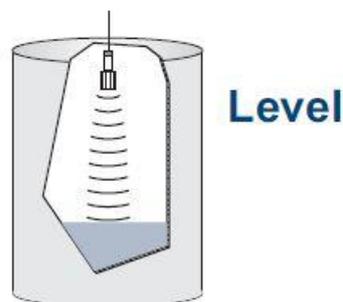


Ilustración 17: Sensor de nivel ultrasónico. Fuente: <https://procoen.com/>

4.5.4 Sensores de calidad del agua

Estos sensores monitorizan diferentes parámetros del agua, y sirven para controlar que estos se mantengan dentro de los valores que determinan las autoridades sanitarias. Entre los tipos más importantes, se encuentran los siguientes:

Sensores de cloro
Sensores de pH
Sensores de turbidez
Sensores de Conductividad
Sensores de temperatura



Ilustración 18: Sensores de calidad del agua. Fuente: <https://www.iaqua.es/>

4.5.5 Actuadores y válvulas

Una válvula es un aparato mecánico que sirve para iniciar, detener o regular el paso del agua en una conducción. Esto lo consigue a través de una pieza móvil que abre, cierra u obstruye de forma parcial el conducto.

En las empresas que gestionan la distribución del agua en una población estos elementos son esenciales a muchos niveles. Pueden evitar una fuga masiva de agua potable mediante el cierre de una conducción que se ha averiado, regular la presión de servicio en los hogares en cada momento, sectorizar el agua de forma eficiente, etc.

Estos dispositivos suelen ir acompañados de un actuador, de manera que se pueda maniobrar sobre la válvula de forma remota desde un sistema de control SCADA. El actuador es un tipo de motor, que puede ser neumático o hidráulico, que es el que produce el movimiento mecánico necesario para el movimiento de la válvula.



Ilustración 19: Válvula con actuador eléctrico. Fuente: www.ptvalve.net/

5. Análisis de riesgos

El proyecto de digitalización de una empresa de gestión de agua en una población es, en algunos casos, de una envergadura relevante, en el que se pueden encontrar multitud de situaciones que pueden dirigir el proyecto al fracaso. Por esta razón, se debe poder anticipar los posibles riesgos que pueden tener cabida durante la ejecución del proyecto con el fin de abordarlos y ofrecer soluciones con antelación.

Según el PMBOK [14], la gestión de riesgos es el conjunto de procesos que se relacionan con la identificación, el análisis y la respuesta a la incertidumbre. Además, aporta los siguientes elementos principales:

- Identificación del riesgo
- Planificación de la respuesta a este riesgo
- Medición de características del riesgo
 - Impacto del riesgo
 - Probabilidad de que el riesgo pueda ocurrir

Riesgo	Descripción	Medidas preventivas	Impacto	Probabilidad
R01	Falta de apoyo de la dirección	Reuniones periódicas	Medio	Baja
R02	Falta de formación en el personal	Planes de formación	Alto	Baja
R03	Resistencia al cambio	Plan de gestión del cambio	Alto	Media
R04	Perdida de datos durante la migración	Política de copias de seguridad	Alto	Baja
R05	Planificación incorrecta	Puesta en común de la planificación para su revisión	Alto	Baja
R06	Bajo rendimiento del sistema SCADA	Realización de pruebas	Media	Baja
R07	Bajo rendimiento del sistema ERP	Realización de pruebas	Media	Baja
R08	Bajo rendimiento del sistema GIS	Realización de pruebas	Media	Baja

Tabla 2: Identificación de riesgos. Fuente: PMBOK [14]

Como se puede observar en la tabla, se distinguen principalmente 8 riesgos. Los cinco primeros son riesgos generales inherentes a la mayoría de los proyectos, mientras que los tres últimos son riesgos específicos del proyecto de digitalización en empresas de gestión de agua en núcleos urbanos.

En la misma tabla se indica la descripción del riesgo detectado, así como la medida preventiva para tratarlo y su impacto en el proyecto y la probabilidad de incidencia.

Existe abundante bibliografía que trata de cómo gestionar los riesgos derivados de planificaciones incorrectas, resistencia al cambio o falta de apoyo de la dirección, entre muchos otros. Por ejemplo, en la asignatura cursada Gestión de Proyectos de este grado, en el módulo llamado “Planificación del proyecto” [15] se puede encontrar una exposición bastante extensa sobre el tema, así como referencias a otros estudios que tratan profundamente la problemática de la gestión de riesgos en los proyectos.

De igual forma, cabe resaltar la importancia de prestar atención a los tres últimos riesgos, los cuales son específicos de este tipo de organizaciones. Un bajo rendimiento del sistema SCADA imposibilita que los operadores del centro de control puedan supervisar y controlar la red de abastecimiento y saneamiento, y por lo tanto puede suponer el fracaso parcial o total de este proyecto.

En todo caso, una comunicación fluida, reuniones periódicas entre las partes implicadas en el proyecto, así como la continua realización de pruebas en los sistemas implantados reducirán de forma notable la probabilidad de un impacto negativo en el éxito del proyecto.

6. Selección de ERP para la gestión del agua

6.1 Módulos necesarios para la gestión de agua

En el caso concreto de estudio, empresas públicas de gestión de agua en poblaciones, hay que tener en cuenta que, en contra del pensamiento general de la población, el sector no se basa en la venta de un producto, sino en ofrecer un servicio que gira alrededor de un producto. El agua se sirve a los usuarios en sus domicilios a la vez que se retira en forma de residuo tras su utilización.

Por lo tanto, todo ello se debe tener en cuenta a la hora de establecer los módulos necesarios ya expuestos anteriormente como requisitos del sistema.

6.2 Costes de licencias

A continuación, se exponen los costes derivados de la contratación de licencias en los diferentes sistemas. Al tratarse de software libre, en gran parte de las herramientas no existirá coste alguno de licencias y el coste total será el derivado del proceso de implantación con el socio tecnológico.

No obstante, se ha recurrido a los portales oficiales de los distintos sistemas para consultar los precios en cada caso.

6.2.1 Costes de licencia de Odoo

Odoo dispone de distintos módulos que requieren pago en forma de suscripción, así como el precio depende del número de usuarios.

En resumen, en función de la versión, de menor a mayor:

- Desde unos 50 euros/mes las versiones más básicas.
- Unos pocos de cientos mensuales (rango 100-300 euros) para PYMES de unos 10-20 empleados que busquen una solución «*Enterprise*».

Las horquillas de precios provistas son para PYMES por ser el mayor número de empresas existentes. Siempre se puede invertir más en el sistema para corporaciones de mayor tamaño.

El precio total para licencias en Odoo dependerá en todo caso del tamaño de la empresa de gestión de agua.

6.2.2 Costes de licencia de Dolibarr

Dolibarr es de uso gratuito si se instala en el servidor de la empresa. También ofrece servicio SaaS de pago en la nube.

Para Dolibarr Cloud existen 2 planes a partir de 9 euros al mes con distintas características:

Plan Basic: 9 euros al mes por usuario con 5GB de almacenamiento

Plan Premium: 30 euros al mes + 12 euros al mes por usuario con 25 GB de almacenamiento

Los planes de pago ofrecen 15 días de prueba gratis y disponen de soporte técnico.

Al igual que en Odoo, la elección del plan y el coste total dependerá del tamaño y necesidades de cada empresa en particular.

6.2.3 Costes de licencia de Adempiere y Compiere

Tanto Adempiere como Compiere no tienen ningún tipo de licencia de pago ni módulos que requieran coste económico. Sí que será necesario tener en cuenta el coste de implantación.

6.3 Costes de implantación

Como ya se expuso con anterioridad, el hecho de que una herramienta sea *open Source* no significa que sea gratis en su totalidad. De hecho, para que la implantación se realice de forma eficaz se requiere de un proveedor profesional de servicios que tenga experiencia trabajando con dicha herramienta. En definitiva, se hace necesaria la colaboración de un socio tecnológico que se encargue de la implantación del sistema de información.

Además, la instalación de los diferentes módulos, así como su correcta configuración de acuerdo con las necesidades de la organización son tareas complicadas y en algunos casos será necesario incluir o modificar procesos de acuerdo con los requerimientos de cada empresa concreta. Es decir, en cada organización la implantación tendrá una envergadura diferente según el tamaño de esta, y por lo tanto el precio será también diferente.

Para el caso que ocupa este trabajo, lo más recomendable es recurrir a una empresa local que se encargue de la implantación, ya que, al tratarse de software libre, no se está sujeto a la contratación de los implantadores oficiales de la marca propietaria.

Esta decisión se apoya en los principios de la carta abierta a las instituciones de la Unión Europea expuestos en el punto 4.1 del presente trabajo, en los que se aboga por el uso de software libre cuando los recursos sean públicos, así como el apoyo a la economía local a través de pequeñas y medianas empresas para implantar los sistemas.

6.4 Valoración de sistemas

A continuación, se procede a la valoración de los distintos sistemas ERP con el fin de seleccionar uno para su implantación.

Se ha diseñado una tabla en la que se expone cada criterio de selección que se ha estimado relevante en los ERP, y se ha valorado mediante un sistema de *scoring*, en el que se asigna un valor número de relevancia a cada criterio y se puntúa en cada sistema. De este modo se obtiene un valor total ponderado según las prioridades establecidas.

Se puede observar que Odoo cumple con una mayor eficacia los criterios establecidos en el análisis. En concreto, posee una mayor compatibilidad multiplataforma y un mayor número de módulos prediseñados que necesitarán las diferentes organizaciones en la gestión del agua. Cabe mencionar de forma especial el módulo de mantenimiento preventivo y correctivo, necesario para una correcta explotación de la infraestructura hidráulica, y que en Odoo posee una mayor funcionalidad y optimización de procesos.

En cuanto a costes de licencia, solo Odoo y Dolibarr tienen costes y servicios de suscripción, por lo tanto, son penalizados en este aspecto frente a Adempiere y Compiere que son totalmente gratuitas en este sentido.

En consecuencia, se propone Odoo como sistema ERP a implantar.

Criterios de selección	Importancia	Odo		Dolibarr		Adempiere		Compiere	
		Valor	Ponderación	Valor	Ponderación	Valor	Ponderación	Valor	Ponderación
Escalabilidad	8	7	56	7	56	8	64	7	56
Interfaz	7	9	63	7	49	6	42	6	42
Integración	7	8	56	6	42	8	56	7	49
Base de datos única	8	8	64	8	64	8	64	8	64
Gestión perfiles	9	9	81	8	72	9	81	7	63
Multiplataforma	8	8	64	8	64	6	48	6	48
Usabilidad	7	7	49	7	49	7	49	7	49
Coste	7	6	42	7	49	8	56	8	56
Seguridad	9	8	72	8	72	8	72	7	63
Módulos necesarios	9	9	81	8	72	7	63	6	54
TOTAL			628		589		600		544

Tabla 3: Valoración ERP. Fuente: elaboración propia

7. Selección de GIS para la gestión del agua

7.1 Funcionalidad necesaria

La funcionalidad básica necesaria, como ya se expuso en apartados anteriores, debe cubrir al menos los siguientes requisitos:

- Posibilidad de generar búsquedas avanzadas en el inventario de la red de abastecimiento y saneamiento: longitud de las redes, número de elementos hidráulicos por tipo, ratios...
- Creación de mapas temáticos para ofrecer una representación gráfica de las características técnicas de la infraestructura.
- Debe permitir la impresión de planos mediante plantillas asistidas que simplifiquen el proceso de configuración.
- Inclusión de perfiles longitudinales en las redes y la gestión de cuencas de vertido contaminantes.
- Vinculación con documentos, fotografías, croquis, etc.
- Debe permitir la cartografía ráster y orto fotogramas a color.
- Integración con sistemas GPS.
- Exportación de los datos a otros formatos.

7.2 Costes de licencias

En este caso, ninguna de las herramientas tiene coste de uso o licencia.

7.3 Costes de implantación

Siguiendo los principios expuestos en el apartado 6.3, se priorizará la contratación de un socio tecnológico local y la implantación se adaptará a las necesidades concretas de cada empresa. Por lo tanto, el coste de implantación dependerá de las necesidades particulares en cada caso.

7.4 Valoración de los sistemas

A continuación, se procede a la valoración de los distintos sistemas de información geográfica con el fin de seleccionar uno para su implantación.

Se ha diseñado una tabla en la que se expone cada criterio de selección que se ha estimado relevante en los sistemas de información geográfica, GIS, y se ha valorado mediante un sistema de *scoring*, en el que se asigna un valor número de relevancia a cada criterio y se puntúa en cada sistema. De este modo se obtiene un valor total ponderado según las prioridades establecidas.

En esta tabla se puede observar como el GIS SAGA obtiene una puntuación total sensiblemente inferior al resto de sistemas analizados. Esto evidencia que este sistema no cumple con los parámetros requeridos para satisfacer las necesidades de una empresa de gestión de agua y saneamiento.

Cabe destacar que todos los sistemas cumplen en cuanto a funcionalidad básica se refiere y son una herramienta completa en este criterio. Es decir, operaciones como el desarrollo de mapas geográficos, así como la edición y creación de capas facilitan el trabajo al usuario final.

Tres de las características particulares que se analizan en un sistema de información geográfica es el análisis espacial y la capacidad vectorial y ráster:

- Análisis espacial. permite ejecutar tareas de procesamiento de información espacial. Se puede observar que GvSig vuelve a cumplir de forma excelente.
- Capacidad vectorial y ráster. Permite crear y editar objetos geográficos a partir de puntos, líneas, polígonos e imágenes, estas últimas en datos de tipo ráster. En este caso se puede observar cómo GvSig vuelve a destacar entre los sistemas evaluados.

Otras de las características analizadas es la interoperabilidad. Esta característica fortalece las capacidades del sistema de información geográfica y, a excepción de SAGA, el resto de las soluciones cumplen en gran medida con los requisitos. Se pueden resumir en estos tres puntos:

- Definen e integran información diversa a partir de la generación de formatos de datos compatibles con otras herramientas.
- Utilizan servicios Web bajo el estándar OGC (Geospatial Consortium).
- Permiten conexión con variedad de gestores de bases de datos con capacidad espacial.

Por lo tanto, se propone GvSig como sistema de información geográfica a implantar.

Criterios de selección	Importancia	OpenJUMP		QGIS		SAGA		GvSIG	
		Valor	Ponderación	Valor	Ponderación	Valor	Ponderación	Valor	Ponderación
Análisis espacial	8	8	64	7	56	8	64	10	80
Capacidad vectorial	10	9	90	9	90	8	80	10	100
Capacidad ráster	10	9	90	7	70	8	80	9	90
Interoperabilidad	7	7	49	9	63	5	35	9	63
Rendimiento	10	7	70	9	90	8	80	9	90
Documentación	9	9	81	9	81	9	81	9	81
Funcionalidad básica	9	8	72	8	72	7	63	8	72
Generación de mapas	9	7	63	7	63	6	54	9	81
Soporte	6	8	48	8	48	8	48	8	48
TOTAL			627		633		585		705

Tabla 4: Valoración GIS. Fuente: elaboración propia

8. Selección de SCADA

8.1 Funcionalidad necesaria

Como se ha visto en apartados anteriores, un sistema SCADA en una distribución de agua potable y gestión de agua residual debe permitir, entre otras cosas, las siguientes:

- Determinar el consumo por zonas.
- Información en tiempo real del estado del sistema.
- Actuaciones automáticas.
- Detección rápida de averías.
- Historial de funcionamiento de la red.
- Posibilidad de supervisión y mejora del funcionamiento del sistema.
- Posibilidad de control de la red.

8.2 Costes de licencias

En este caso, todas las soluciones están desprovistas de versiones de pago o límites de algún tipo. Solo RapidScada posee algunos módulos especiales que son de pago, y cuyo precio se sitúa en muchos casos por debajo de 10\$.

8.3 Costes de implantación

Al igual que en los casos anteriores y desarrollados en el apartado 6.3, se intentará implantar la solución a través de una empresa local y cubrir las necesidades concretas de cada empresa en cuestión.

8.4 Valoración de los sistemas

Después de exponer las características generales de cada sistema SCADA *open Source*, se procede a su valoración desde diferentes aspectos, con el fin de elegir la solución que mejor se adapte a este tipo de organizaciones.

Se ha diseñado una tabla en la que se expone cada criterio de selección que se ha estimado como relevante en los sistemas SCADA y se ha valorado mediante un sistema de *scoring*, en el que se asigna un valor número de relevancia a cada criterio y se puntúa en cada sistema. De este modo se obtiene un valor total ponderado según las prioridades establecidas.

Para el caso de un sistema SCADA, una de las principales características es la compatibilidad con los dispositivos lógicos programables (PLC) de los diferentes proveedores (Siemens, Omron, Allen Bradley, etc.) En este caso, y ya que se propusieron sistemas que fueran compatibles con las diferentes formas de intercambiar información más utilizadas, es decir, los protocolos de

comunicación más extendidos (OPC, Modbus), todos los sistemas analizados cumplen con este requisito.

Otra de las características más utilizadas hoy en día en la industria y con una cuota mayor cada año, es la posibilidad de acceder mediante tecnología web a los sistemas SCADA. Esto posibilita una descentralización del control de los procesos y permite realizar una supervisión y control desde cualquier parte del mundo.

Del mismo modo, se evalúa la capacidad multiplataforma de cada sistema. Aunque los analizados poseen compatibilidad con los sistemas más extendidos (Windows, Linux y Mac) hay que destacar que algunos de ellos se pueden instalar en placas microcontroladoras como Raspberry Pi u Orange Pi., como es el caso de OpenScada y RapidScada. En este apartado, estos dos sistemas SCADA ofrecen la máxima compatibilidad.

Por último, cabe destacar en este repaso a las funcionalidades más importantes, el criterio de seguridad. Este es un criterio que ha ganado importancia con el paso de los años, y que hoy en día es vital en cualquier sistema de información conectado a la red. La ciberseguridad es, en un entorno industrial, algo a tener en cuenta para la protección de la información sensible, así como de las personas, ya que este tipo de organizaciones trabajan con un bien básico, como es el agua, y se debe garantizar la integridad de los sistemas en todo momento. En este sentido, tanto OpenScada como RapidScada poseen módulos adicionales que incrementan la seguridad del sistema.

A modo de síntesis, se presenta a continuación una tabla con las valoraciones de cada uno de los cuatro sistemas analizados y sus puntuaciones en cada uno de los criterios, así como la puntuación total.

Con todo esto en cuenta, se propone RapidScada como sistema SCADA a implantar.

		OpenSCADA		RapidSCADA		SCADABR		SCADA-LTS	
Criterios de selección	Importancia	Valor	Ponderación	Valor	Ponderación	Valor	Ponderación	Valor	Ponderación
Multiplataforma	9	9	81	9	81	7	63	7	63
Arquitectura cliente/servidor	8	8	64	8	64	8	64	8	64
Acceso web	9	7	63	8	72	8	72	7	63
Lenguajes de programación	7	8	56	7	49	8	56	8	56
Coste	7	8	56	6	42	7	49	8	56
Funcionalidad básica	9	8	72	9	81	8	72	8	72
Protocolos soportados	9	8	72	9	81	8	72	7	63
Gestión de alarmas	8	7	56	8	64	9	72	8	64
Seguridad	10	8	80	8	80	7	70	7	70
Escalabilidad	9	8	72	8	72	7	63	7	63
Actualizaciones	8	8	64	9	72	7	56	6	48
Documentación	9	9	81	8	72	7	63	7	63
TOTAL			817		830		772		745

Tabla 5: Valoración SCADA. Fuente: elaboración propia

9. Implantación de los sistemas

9.1 Introducción

La fase de implantación de un sistema de información es la que más tiempo requiere generalmente y dónde pueden aparecer mayores dificultades. Se divide en diferentes etapas que tienen como objetivo la configuración del software, documentación, traspaso de datos, test de prueba y la formación de los usuarios finales.

9.2 Metodología

La metodología de implantación propuesta es la de implantación por fases modular (tradicionalmente llamada en *cascada*). Esta metodología otorga un mayor control de los procesos y de los costes. Se estima que es la mejor opción para llevar a cabo el proyecto y detectar posibles errores. Hay que tener en cuenta que se trata de la implantación de tres sistemas de información interconectados entre sí. En este caso concreto la aparición de problemas durante la implantación es más que probable. [16]

Esta metodología se dividirá en diferentes fases, tal y como se explica en el apartado siguiente. Este orden determina que las fases posteriores dependen de que las fases que le preceden estén ejecutadas de forma correcta. De hecho, no se debe avanzar en una hasta haber acabado la anterior. Esta forma de dividir el trabajo otorga la oportunidad de realizar cambios durante el ciclo de vida de la implantación, e incluso retroceder a estados anteriores si la situación lo requiere.

9.3 Fases de implantación

Consta de las siguientes fases: [17]

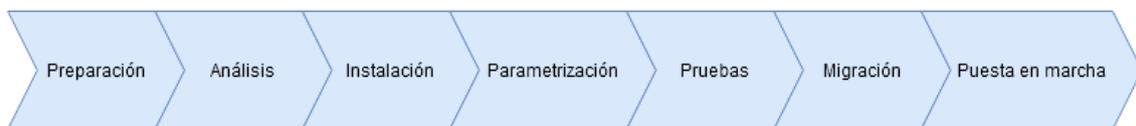


Ilustración 20: Fases de implantación de un sistema de información. Fuente: Elaboración propia.

1. Preparación

En esta fase se define el equipo del proyecto y el grupo de interesados o *stakeholders*. También se define el alcance y se planifican las distintas reuniones entre el equipo del proyecto y la dirección de la empresa de agua. También se define la auditoría del alcance de todas estas acciones con el fin de proponer acciones correctivas si fuera necesario.

2. Análisis

En esta segunda fase se analizan los procesos de negocio necesarios, con los diferentes interesados y se genera la documentación necesaria de los procesos de los sistemas ERP, GIS y SCADA, así como la forma en qué se adaptará la solución a cada necesidad.

3. Instalación

En esta fase se procede a la instalación y configuración de los sistemas de información en los servidores de la organización. Como resultado de esta fase se obtiene un prototipo funcional que será utilizado en las fases posteriores.

4. Parametrización

En esta cuarta fase se tratará de adaptar el sistema a la organización, tal y como se ha definido en la fase de análisis. También se genera la documentación necesaria definida en las fases anteriores, a disposición de los usuarios finales.

Todas estas parametrizaciones han de ser testeadas hasta comprobar que no existen errores detectables.

5. Pruebas

En primer lugar, se realizan pruebas en el sistema simulando la actividad real y se verifican que todo funcione correctamente. El fin de esta fase es obtener los mismos resultados a los que se obtendrán durante la realización de los procesos definidos por la organización.

De la misma forma, se realizará un análisis de estos resultados para verificar la integridad y validez de estos. Por último, se evaluará el rendimiento de los distintos sistemas.

6. Migración

En esta fase se considera que el sistema está listo para entrar en servicio. Se creará un plan de puesta en marcha de forma modular y se migrarán los distintos sistemas. Se definen las siguientes fases para una correcta migración:

- Se comenzará por el sistema ERP, seguidamente con el sistema GIS y por último se trabajará con el SCADA.
- Extracción de los datos de las antiguas herramientas de la organización (si las hubiera).
- Se analizará la información extraída. Se comprobará la integridad de todos los datos, así como el cumplimiento de la normativa vigente.
- Se realizarán pruebas de validez de los datos.

- Migración de los datos a los nuevos sistemas de información
- Comparación de los datos entre las herramientas nuevas y las antiguas.

7. Puesta en marcha

En esta fase los sistemas comienzan a funcionar sobre los procesos reales de la organización. Los usuarios finales trabajan con ello tras una fase de formación. En caso de detectar algún error, se corregirá con el *feedback* reportado por los usuarios.

De la misma forma se definirá un calendario de pruebas para monitorizar resultados de los procesos y el rendimiento del sistema. Se prestará especial atención al sistema SCADA, ya que controlará de forma directa el abastecimiento de agua a la población

9.3 Equipo

Definición del equipo responsable del proyecto por parte de la empresa implantadora: [18]

- Director del proyecto. Es la persona encargada de definir la planificación de la implantación, así como la metodología a seguir. Esta figura adquiere el compromiso de finalizar la implantación en la forma y tiempo acordados.
- Consultores. Formado por el equipo encargado de la implantación de los distintos sistemas. Se encargarán de implantar ERP, GIS y SCADA.
- Formadores. Es el equipo encargado de la formación relativa a los sistemas de información a implantar. En este caso estará formado por tres equipos diferenciados, para ERP, GIS y SCADA.

Definición del equipo responsable del proyecto por parte de la empresa pública de gestión de agua:

- Jefe de proyecto de la organización. Actúa como elemento centralizador en la implantación de los sistemas y dará solución a los distintos problemas que puedan surgir durante el proceso.
- Usuarios clave. Se trata del personal de la empresa de gestión de agua. Deben participar de forma activa en lo referente a los procesos de su área.

10. Soporte y mantenimiento

A partir de las herramientas de monitorización de los sistemas de información implantados, se evaluará el correcto funcionamiento del sistema y se auditarán los resultados. Las medidas a adoptar en este sentido son las siguientes:

- Se comprobará el grado de adecuación de los procesos definidos, así como el rendimiento de éstos. Se tomarán medidas correctoras en los casos en que sea necesario.
- Se realizará un mantenimiento tanto preventivo como correctivo de todos los sistemas implicados, a nivel hardware y software.
- Se realizarán mejoras de los sistemas desde el enfoque de actualización e incremento de rendimiento. La intención de esta medida es mantener un sistema actualizado y no caer en la obsolescencia que tiene lugar comúnmente en este tipo de organizaciones.
- Se mantendrá un plan de formación continua para todo el personal implicado, haciendo hincapié en las nuevas funcionalidades que se implanten o en aquellos procesos donde se detecte un conocimiento insuficiente de los procesos.
- Existirá una línea de soporte técnico durante todo el año las veinticuatro horas del día, ya que estas organizaciones prestan un servicio esencial e ininterrumpido a la población.

11. Gestión del cambio

11.1 Introducción

En cualquier proyecto que se lleve a cabo se producen cambios a diferentes niveles dentro de la organización. Cada intento de cambio tiene una posibilidad de fracaso, debido a diferentes factores. De hecho, los cambios mal entendidos o ejecutados pueden derivar en una cultura tóxica que merma el bienestar y desempeño de las personas que conforman la organización.

En el caso que ocupa este trabajo, se trata de organizaciones que llevan muchos años funcionando con sistemas rudimentarios, en las que el formato papel sigue teniendo un peso importante, con trabajadores en muchos casos con décadas de servicio en su historial y reticentes a cambiar su forma de entender los procesos.

Por lo tanto, entrar en la era de la digitalización sin que exista una alta resistencia en las personas depende en gran medida de la capacidad que se tenga en gestionar esa adaptación. Esto se consigue a través de dos principios fundamentales: la comunicación y la formación.

11.2 Comunicación

La comunicación es un elemento crítico a la hora de gestionar procesos de cambios en las organizaciones. De este modo, cuando la organización se plantea realizar una serie de cambios importantes, como es el hecho de digitalizar una empresa que gestiona el agua para un municipio o localidad, es esencial que el director del proyecto sepa gestionar todo el proceso.

Por consiguiente, hay que tener en cuenta que la comunicación se debe adaptar a cada persona de la organización en la medida de lo posible y evitar una comunicación lineal homogénea para todos los miembros de la empresa.

Las causas de resistencia al cambio, que es algo natural dentro de estos procesos, suelen ser: [19]

- Miedo a lo desconocido.
- Miedo al fracaso.
- Resistencia para experimentar.
- Falta de tacto de quien introduce el cambio.
- Percepción de amenazas.

Suele existir una relación directa entre el tiempo que lleva una persona en la organización y su resistencia al cambio. Ante esta situación, la mejor herramienta es la comunicación.

Este proceso de digitalización realizará modificaciones sustanciales en la organización e implicará que diferentes personas tengan que reciclar sus

funciones en la empresa. La comunicación permitirá explicar mejor estos cambios que se van a producir y ayudará a conseguir el cambio de hábitos necesario.

Una de las estrategias de comunicación en la gestión del cambio es averiguar las motivaciones de las personas implicadas y el origen de sus conflictos. La creación de mapas de empatía puede ayudar a influir y motivar a las personas.

En resumen, la comunicación es una de las partes fundamentales en el éxito de un proyecto y tiene como objetivo evitar el fracaso de este. El plan de comunicación en un proyecto de esta envergadura debe dar respuesta a las preocupaciones de los empleados. De la misma forma, debe ejecutarse con mensajes dirigidos a cada persona particular, en la medida de lo posible.

11.3 Formación

La segunda parte en la gestión del cambio es la relativa a la formación de las personas en sus puestos. Un plan de formación eficiente deberá seguir una serie de pautas para la creación de una cultura alrededor de los nuevos sistemas de información.

Algunas claves en el plan de formación pueden ser las siguientes: [20]

- **Infraestructura:** La organización debe disponer de la infraestructura necesaria para ofrecer al personal una formación adecuada y de calidad. Sistemas audiovisuales, salas de formación, cursos online, etc.
- **Especialización:** La implantación se compone de varios sistemas de información. En algunos de ellos se requiere una alta especialización. Por ejemplo, en un SCADA el operador debe ser capaz de interpretar la información mostrada por el sistema y actuar en consecuencia. Actuar de forma errónea por una formación deficiente puede conllevar consecuencias altamente perjudiciales.
- **Realización de sondeos:** Es posible detectar necesidades de formación en el personal mediante el diseño de cuestionarios o con reuniones con los responsables de cada departamento.

12. Conclusiones

En este trabajo de fin de grado se ha expuesto de forma general el procedimiento de digitalización a través de la implantación de sistemas de información en empresas de abastecimiento y saneamiento de agua en núcleos de población inferiores a cien mil habitantes. El objetivo es mejorar, potenciar y estandarizar los procesos dentro de este tipo de organizaciones, ya sean de gestión pública o mixta.

Este tipo de empresas, por lo general, se encuentran en niveles muy bajos de digitalización, en las que el formato papel en muchos casos es el único utilizado. Además, la ausencia de sistemas de automática y telecontrol redundan en una peor calidad de los procesos y un aumento del coste de explotación y, por lo tanto, el servicio y la calidad del agua son inferiores en comparación a los grandes núcleos de población, así como en un incremento del riesgo de seguridad (bioterrorismo, ciberseguridad, etc.)

El desarrollo del proyecto me ha permitido utilizar los conocimientos aprendidos en las diferentes asignaturas cursadas durante el grado, especialmente las impartidas en el itinerario de Sistemas de Información. Entre estos conocimientos adquiridos está la importancia de la implantación de sistemas de información adecuados en una organización, así como su impacto y la metodología utilizada para la selección de los distintos tipos de sistemas y proveedores. De igual forma, se han aplicado conocimientos en gestión de proyectos, valoración de beneficios y riesgos.

Durante el proceso de selección de los sistemas de información se ha utilizado un sistema de *scoring* ponderado como apoyo para la toma de decisión. Los criterios de selección utilizados han sido adaptados para este tipo de empresas, en las que principalmente se oferta un servicio en torno a un producto (agua). Recordemos que el negocio del agua consiste en obtener el producto en su forma bruta (agua), aplicarle un tratamiento para conseguir agua potable (plantas potabilizadoras), transportar el agua hasta los domicilios de los clientes, retirar el residuo resultante (agua residual), transportar este residuo hasta las plantas de depuración y devolverlo al medio natural produciendo el menor impacto posible.

Por último, cabe recordar, que el agua es un bien imprescindible para la vida. La gestión de este recurso debe ser honesta, transparente y supeditada siempre al interés general, no solo de una pequeña población, sino al interés general del mundo entero, ya que durante el ciclo del agua en el entorno urbano es posible contaminar ríos y mares si no se utilizan los procesos adecuados, y esto es algo que nos afecta a todos.

13. Trabajo futuro

A partir del trabajo realizado en este TFG, se dispone de multitud de alternativas de investigación, ya que el sector se presta a la aplicación de tecnologías de la información a varios niveles.

Este sector del agua se encuentra inmerso en una transformación digital de todos sus procesos. Tareas como la lectura manual de los contadores de los clientes son algo que prácticamente ha pasado a la historia, y la tendencia es la creación de redes de agua altamente digitalizadas.

Relacionado con lo anterior, la ciberseguridad, tan presente en la actualidad, debe jugar un papel esencial, tanto para proteger la información y los datos de las empresas de agua y sus clientes, como para preservar la integridad y salubridad del agua potable que consumen los ciudadanos, y evitar riesgos de bioterrorismo. No hay que olvidar que, aunque en la actualidad no parezca una amenaza crítica, en la antigüedad las reservas de agua potable eran uno de los objetivos habituales para atacar a personal militar y civil en una determinada población. La realidad es que el agua potable es el único producto que todos los habitantes de cualquier ciudad del mundo consumen de una forma u otra.

Del mismo modo, el uso de inteligencia artificial en el contexto de las *Smart cities* y más concretamente en la gestión del abastecimiento y saneamiento de agua puede contribuir a obtener redes inteligentes que sean capaces de detectar, analizar y corregir diferentes tipos de incidencias, tales como roturas de conducciones, baja eficiencia de la red de agua potable o presencia de vertidos contaminantes en la red de colectores.

Creo que el futuro del sector se presta a la investigación y aplicación de nuevas tecnologías, en las que la informática desempeñará una labor fundamental.

14. Glosario

GIS: Un sistema de información geográfica (SIG), también habitualmente citado como GIS por las siglas de su nombre en inglés *Geographical Information System*, es un conjunto de herramientas que integra y relaciona diversos componentes que permiten la organización, almacenamiento, manipulación, análisis y modelización de grandes cantidades de datos procedentes del mundo real que están vinculados a una referencia espacial, facilitando la incorporación de aspectos sociales-culturales, económicos y ambientales que conducen a la toma de decisiones de una manera más eficaz.

SCADA: Acrónimo de *Supervisory Control And Data Acquisition* (Supervisión, Control y Adquisición de Datos) es un concepto que se emplea para realizar un software para ordenadores que permite controlar y supervisar procesos industriales a distancia. Facilita retroalimentación en tiempo real con los dispositivos de campo (sensores y actuadores), y controla el proceso automáticamente. Provee de toda la información que se genera en el proceso productivo (supervisión, control calidad, control de producción, almacenamiento de datos, etc.) y permite su gestión e intervención.

ERP: Los sistemas de planificación de recursos empresariales (ERP, por sus siglas en inglés, *Enterprise Resource Planning*) son los sistemas de información gerenciales que integran y manejan muchos de los negocios asociados con las operaciones de producción y de los aspectos de distribución de una compañía en la producción de bienes o servicios.

Cloud: Paradigma de la computación que hace referencia a la descentralización geográfica de los servicios.

On Premise: Situación local geográfica dentro de las instalaciones propias de la organización.

Open Source: Paradigma de la programación que hace referencia al modelo de desarrollo de código abierto compartido por un creador o fabricante.

OPC: Estándar de comunicación en el campo del control y supervisión de procesos industriales, basado en una tecnología Microsoft, que ofrece una interfaz común para comunicación que permite que componentes de software individuales interactúen y compartan datos. La comunicación OPC se realiza a través de una arquitectura Cliente-servidor. El servidor OPC es la fuente de datos (como un dispositivo hardware a nivel de planta) y cualquier aplicación basada en OPC puede acceder a dicho servidor para leer/escribir cualquier variable que ofrezca el servidor.

WFMC: La *Workflow Management Coalition* es un consorcio industrial formado para definir estándares para la interoperabilidad de sistemas de gestión de flujos de trabajo.

WildFly: Anteriormente conocido como JBoss AS, o simplemente JBoss, es un servidor de aplicaciones Java EE de código abierto implementado en Java puro, más concretamente la especificación Java EE.

Grátícula: Malla regular con el sistema de coordenadas que se superpone sobre un mapa (generalmente en ediciones impresas en papel). Puede tener la forma de red de cruces o bien como una cuadrícula regular, indicando en sus intersecciones valores alcanzados por el sistema de coordenadas en esos puntos.

Krigin: Kriging presupone que la distancia o la dirección entre los puntos de muestra reflejan una correlación espacial que puede utilizarse para explicar la variación en la superficie. La herramienta Kriging ajusta una función matemática a una cantidad especificada de puntos o a todos los puntos dentro de un radio específico para determinar el valor de salida para cada ubicación.

15. Bibliografía

- [1] Naciones Unidas. Programa 21, capítulo 18. Río de Janeiro, 1992.
- [2] Las 6 etapas del ciclo integral del agua (2020) [en línea]. Idrica. [Consulta: 7 de octubre de 2020] <<https://www.idrica.com/es/blog/las-6-etapas-del-ciclo-integral-del-agua/>>
- [3] Ley 7/1985, de 2 de abril, Reguladora de las Bases del Régimen Local. <<https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-1985-5392>>
- [4] Cómo gestionamos el agua (2020) [en línea]. Barcelona: Aigües de Barcelona. [Consulta: 9 de octubre de 2020] <<https://www.aiguesdebarcelona.cat/es/el-agua-en-tu-ciudad/como-se-gestiona-el-agua>>
- [5] Montalbán, Francisco (2020). <<Así han revolucionado las nuevas tecnologías la gestión del agua>>. Everis. Recuperado de: <<https://blog.everis.com/es/blog/tecnolog%C3%ADa/as%C3%AD-han-revolucionado-las-nuevas-tecnolog%C3%ADas-la-gesti%C3%B3n-del-agua>>
- [6] Guitart Hormigo, Isabel (2019). <<Sistemas de información empresarial>>. Editorial UOC.
- [7] Sistemas de Gestión de la Red (2020) [en línea]. EGEVASA. [Consulta: 12 de octubre de 2020] <<https://www.egevasa.es/Empresa/Tecnolog%C3%ADa-e-Di/Tecnolog%C3%ADa/Sistemas-de-gesti%C3%B3n-de-la-red/>>
- [8] Open Letter: *Publicly funded software has to be Free and Open-Source Software* (2017) [en línea]. European Digital Rights y otros. [Consulta: 13 de octubre de 2020] <<https://publiccode.eu/openletter/>>
- [9] Ruiz, Verónica (2018). <<Tipos de ERP>> [en línea]. EmprenePyme. [Consulta: 15 de octubre de 2020] <<https://www.emprendepyme.net/tipos-de-erp.html>>
- [10] Los sistemas de información geográfica (2020) [en línea]. CEUPE. [Consulta: 19 de octubre de 2020] <<https://www.ceupe.com/blog/los-sistemas-de-informacion-geografica.html>>
- [11] Sistema de información geográfica (2020) [en línea]. Wikipedia. [Consulta: 23 de octubre de 2020] <https://es.wikipedia.org/wiki/Sistema_de_informaci%C3%B3n_geogr%C3%A1fica>
- [12] Chestnut, Dwight. <<The Functions of SCADA Systems>> (2019) [en línea]. Itstillworks. [Consulta: 25 de octubre de 2020] <<https://itstillworks.com/13639017/the-functions-of-scada-systems>>

[13] Revista AADECA (noviembre-diciembre 2016) [Consulta: 23 de noviembre de 2020]. Recuperado en: <https://www.aadeca.org/revista_aadeca/pdf/revista_3.pdf>

[14] Becker, Gregory M. <<A practical risk management approach>> (2004) [en línea]. Project Management Institute. [Consulta: 2 de diciembre] <<https://www.pmi.org/learning/library/practical-risk-management-approach-8248>>

[15] Ramón Rodríguez, José., Mariné Jové, Pere (2018). <<Planificación del proyecto>>. Editorial UOC.

[16] Deloitte << ¿Cuál es la metodología más adecuada para tu proyecto?>> (2018) [en línea]. Deloitte. [Consulta: 4 de diciembre] <<https://www2.deloitte.com/es/es/pages/technology/articles/waterfall-vs-agile.html>>

[17] Cervantes Guerrero, Alejandro << Ciclo de vida de un sistema de información>> (2015) [en línea]. monografías. [Consulta: 6 de diciembre de 2020] <<https://www.gestiopolis.com/ciclo-de-vida-de-un-sistema-de-informacion/>>

[18] Sánchez, Héctor Alejandro << Diseño e implantación de sistemas de información y procesamiento de datos para empresa>> (2019) [en línea]. monografías. [Consulta: 3 de diciembre de 2020] <<https://www.monografias.com/trabajos14/implantacion-datos/implantacion-datos.shtml>>

[19] EALDE << La importancia de la comunicación en los cambios organizacionales en Proyectos>> (2019) [en línea]. Ealde. [Consulta: 5 de diciembre de 2020] <<https://www.ealde.es/comunicacion-cambios-organizacionales-proyectos/>>

[20] Cambio organizacional (2020) [en línea]. Wikipedia. [Consulta: 6 de diciembre de 2020] <https://es.wikipedia.org/wiki/Cambio_organizacional>